

Heikki Manninen

VERICUT-ohjelman käyttöönotto ja työkalukirjastojen luominen

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Kone- ja tuotantotekniikka

Insinöörityö

28.11.2017

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Heikki Manninen VERICUT-ohjelman käyttöönotto ja työkalukirjastojen luominen 41 sivua + 1 liite 28.11.2017
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Kone- ja tuotantotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Energia- ja ympäristötekniikka
Ohjaajat	Tuotantoinisinööri Tuomas Rytömaa Tuntiopettaja Tero Karttiala
<p>Insinööriyön tavoitteena oli suorittaa VERICUT-ohjelman käyttöönotto sekä luoda työkalukirjastot ohjelmalla simuloitaville työstökoneille, projektin tilaajalle KaVoKerr Group Finlandille. Ohjelman käyttöönotolla tavoiteltiin NC-ohjelmien koeajoihin liittyviä säästöjä. Säästöt koituvat NC-ohjelmien koeajojen nopeuttamisesta, työstökoneiden törmäyksien estämisestä sekä ohjelmointivirheiden välttämisestä.</p> <p>Insinööriyössä simuloitavien työstökoneiden työkalumakasiineissa olevat työkalut inventoitiin ja mitattiin. Työkaluista kerätyn informaation perusteella työkaluelementeistä tehtiin 3D-mallit. Valmistajasta riippuen tarvittavat 3D-mallit voitiin myös hakea valmistajan verkkosivuilta tai MachiningCloud-ohjelmasta. Työkaluelementtien 3D-malleja käyttämällä inventaariossa mitattuja vastaavat työkalut rakennettiin VERICUT-ohjelman työkalukirjastoon.</p> <p>Insinööriyön lopputuloksena saatiin VERICUT-simulaatiossa käytettävät työkalukirjastot kuudelle eri työstökoneelle. Työkalukirjastot rakennettiin neljän Makino A77 työstökoneen muodostamalle FMS- järjestelmälle, DMG Mori DMC 65 monoBlock- sekä YCM FX380A-työstökoneille. Työkaluja rakennettiin työkalukirjastoihin yhteensä 797 kappaletta.</p> <p>Projektissa tarvittujen tietojen ja ohjelmankäyttötaitojen perusteella, projektin loppupuolella järjestettiin koulutuksia tarvittavista aiheista järjestelmän ylläpidon mahdollistamiseksi. Tarvittavat taidot liittyivät 3D-mallinnusohjelma Creon käyttöön sekä VERICUT-työkalukirjastojen rakentamiseen.</p>	
Avainsanat	VERICUT, työstökonesimulaatio, työkalukirjasto

Author Title Number of Pages Date	Heikki Manninen Implementation of VERICUT Software and Creation of Tool Libraries 41 pages + 1 appendix 28 November 2017
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Mechanical Engineering
Specialisation option	Energy and Environmental Engineering
Instructors	Tuomas Rytömaa, Manufacturing Engineer Tero Karttiala, Lecturer
<p>The purpose of this Bachelor's thesis was to carry out the implementation of VERICUT CNC simulation software and to create tool libraries for the simulated machine tools. This thesis was commissioned by KaVoKerr Group Finland, and the objective of the implementation was to create savings in the trial runs of NC programs. The savings consisted of time savings on trial runs, prevention of machine collisions, and prevention of programming errors.</p> <p>In this thesis, the tools used by the machine tools were measured and an inventory was taken of them. The tool components were made into 3D models using the information gathered during the inventory. Depending on the manufacturer of the tool component, 3D models could be downloaded from the manufacturer's website or from the MachiningCloud program. Using the 3D models of the tool components and the information gathered during the inventory, the tools were assembled into the tool libraries of VERICUT.</p> <p>As a result of this thesis, the use of VERICUT simulation was made possible on six different machine tools. The tool libraries were assembled for the following machine tools: a FMS consisting of four Makino A77s, a DMG Mori DMC 65 monoBlock and YCM FX380A.</p> <p>Based on the necessary knowledge and skills required in this thesis, tutoring was arranged to ensure the maintenance of the created systems. The taught skills were related to the use of 3D CAD software PTC Creo and the assembly of VERICUT tool libraries.</p>	
Keywords	VERICUT, machine tool simulation, tool libraries

Sisällys

Lyhenteitä ja käsitteitä

1	Johdanto	1
2	VERICUT	3
2.1	VERICUT-moduulit	3
2.2	Tuetut työkalunhallintajärjestelmät	10
3	Projektin määrittely	11
4	VERICUT-ohjelman käyttöönotto	12
4.1	Tavoitteet	12
4.2	Investoinnit	12
4.3	Toteutus	13
4.4	Ongelmatilanteet	17
5	Työkalukirjasto	19
5.1	Tavoitteet	19
5.2	Työkalujen inventaario	19
5.2.1	FMS MAKINO A77	23
5.2.2	DMG Mori DMC 65 monoBLOCK	25
5.2.3	YCM FX380A	26
5.3	MachiningCloud	27
5.4	Työkalujen mallintaminen	27
5.5	VERICUT-työkalukirjastojen rakentaminen	29
5.6	Ongelmatilanteet	31
6	Tulokset	34
6.1	Excel-työkalukirjasto	34
6.2	VERICUT-työkalukirjasto	34
6.3	Creo-käyttökoulutus	34
7	Yhteenveto	35
	Lähteet	37

Lyhenteitä ja käsitteitä

ACIS	<i>3D ACIS Modeler</i> . Spatial Corporationin kehittämä mallinnusydin.
AFP	<i>Automated Fiber-Placement</i> . Automatisoitu komposiittikuidun asetusprosessi, jota käytetään tavallisesti monimutkaisilla pinnoilla, tai pienemmillä rakenteilla ATL-prosessiin verrattuna.
ATL	<i>Automated Tape-Laying</i> . Automatisoitu komposiittikuidun asetusprosessi, jota käytetään yksinkertaisten ja tasaisten osien kohdalla.
CAD	<i>Computer Aided Design</i> . Tietokoneavusteinen suunnittelu.
CAM	<i>Computer Aided Manufacturing</i> . Tietokoneavusteinen valmistus.
CATIA	<i>Computer Aided Three-Dimensional Interactive Application</i> . Dassault Systèmesin kehittämä 3D-mallinnusohjelma.
CNC	<i>Computerized numerical control</i> . Tietokoneistettu numeerinen ohjaus.
Creo	PTCn kehittämä 3D-mallinnusohjelma.
DXF	<i>Drawing Exchange Format</i> . Autodeskin kehittämä CAD-tiedostomuoto, 2D-piirros.
FMS	<i>Flexible Manufacturing System</i> . Joustava valmistusjärjestelmä, jossa robotti siirtää varastosta valmiiksi ladattuja paletteja työstökoneille, hallintajärjestelmän määrittämän tarpeen mukaan.
IGES	<i>Initial Graphics Exchange Specification</i> . 2D- ja 3D-mallien siirtoon tarkoitettu tiedostomuoto.

MMS5	<i>Manufacturing Management System 5.</i> Tuotannon hallintajärjestelmä, jota käytetään FMS-järjestelmän hallintaan.
NC	<i>Numerical Control.</i> Numeerinen ohjaus.
NX	Siemensin kehittämä 3D-mallinnusohjelma.
Parasolid	Shape Data Limitedin kehittämä mallinnusydin.
Postprosessori	Postprosessori muuttaa CAM-ohjelman tuottaman työstöradan työstökoneen lukemaan muotoon, G-koodiksi.
SolidWorks	Dassault Systèmesin kehittämä 3D-mallinnusohjelma
STEP	<i>Standard for the Exchange of Product model data.</i> Standardi tietokoneavusteisen suunnittelun, työsuunnittelun ja valmistuksen järjestelmien yhdistämiseen, ISO 10303.
STL	<i>Stereolithography.</i> Stereolitografia, CAD-ohjelmalla luodusta 3D-mallista tehty tiedosto, jossa mallin pinta esitetään kolmioiden avulla.
VDA-FS	<i>Automotive Industry Association - Surface Data Interface.</i> 3D-geometrian siirtämiseen CAD-ohjelmien välillä käytetty tiedostomuoto.
X_T	Parasolid 3D-mallin tiedostomuoto.

1 Johdanto

Insinööriyön tarkoitus oli suorittaa VERICUT-ohjelman käyttöönotto ja luoda täydelliset työkalukirjastot kuudelle työstökoneelle. VERICUT on CNC-konesimulaatio-ohjelma, jonka avulla NC-ohjelmia voidaan koeajaa virtuaalisesti. VERICUT-simulaatiota käyttämällä voidaan vähentää koneaikaa ja materiaaleja tuhlaavia koeajoja sekä välttää työstökoneiden törmäyksiä. VERICUT-simulaatio tulee käyttöön kolmelle eri konemallille: Makino A77, DMG Mori DMC 65 monoBLOCK ja YCM FX380A, KaVo Kerr Group Finlandin koneistamoon. Ilman VERICUT-simulointia koeajoissa on todennäköisempää rikkoo työstökoneesta työkalu, kiinnitin tai kara törmäyksen seurauksena, varsinkin jos käytössä on 5- akselinen työstökone.

NC-ohjelmien simulointiin käytettävät ohjelmat kuten VERICUT eroavat CAM-ohjelmien omasta simulaatiosta. CAM-ohjelman simulaatio visualisoi ohjelman sisällä tehtyjä työstöoperaatioita. CAMilla tehdyt työstöoperaatiot käännetään postprosessorin avulla NC-ohjelmaksi, jota työstökoneen ohjaus pystyy lukemaan. Postprosessoinnissa voi tapahtua virhe tai postprosessori ei ole täysin yhteensopiva työstökoneen ohjauksen kanssa. Tällaisissa tilanteissa on mahdollista, että NC-ohjelmaa työstökoneella ajattaessa työstökoneen liikkeet eivät vastaa CAMilla simuloituja liikkeitä. Käyttämällä NC-ohjelmaa työstökonesimulaatiossa, pystytään ottamaan huomioon myös postprosessorin aiheuttamat virheet. [1.]

KaVo Kerr Group Finland, joka tunnetaan myös nimellä Palodex Group Oy, on osa suurempaa KaVo Kerr brändiä. KaVo Kerr Group Finland kuuluu yhdysvaltalaiseen tiede- ja teknologiayhtiö Danaher-konsernin hammaslääketieteelliseen liiketoimintaan. KaVo Kerr tarjoaa kattavan valikoiman hammashoidon laitteita, sisältäen kuvantamislaitteet, hoitoyksiköt, instrumentit ja laboratoriovälineet. KaVo Kerr Group Finland on yksi Suomen suurimmista terveysteknologian vientiyrityksistä. Yritys on keskittynyt kehittämään ja valmistamaan pääalueen röntgenkuvantamislaitteita. Yrityksen valmistamiin tuotemerkkeihin kuuluu KaVo™, SOREDEX™, INSTRUMENTARIUM DENTAL™ ja Gendex™. [2; 3.]

Yritys perustettiin vuonna 1964 nimellä Ruusuvaara Oy valmistamaan ja kaupallistamaan Yrjö Paateron suunnittelemaa ORTHOPANTOMOGRAPH™-laitetta. Lanseerattu ORTHOPANTOMOGRAPH™ oli ensimmäinen teolliseen valmistukseen soveltuva

hampaiston panoraamaröntgenkuvauslaite. Nykyään yrityksen tehtaalla Tuusulassa valmistetaan röntgenlaitteita kaikkiin eri hammaslääketieteen kuvantamisen käyttökoh-teisiin. Tuusulan tehtaalla tuotekehitys ja tuotanto ovat saman katon alla, mikä mahdol-listaa uusien innovaatioiden nopean testauksen ja tuotekehityksen siirtämisen tuotanto-linjoille. Tehtaalla sijaitsee myös KaVo Kerrin EMEA-alueen tekninen asiakaspalvelu.
[2.]

2 VERICUT

VERICUT-ohjelma on CGTech Ltd:n vuonna 1988 julkaisema tuote. Ohjelmaa käytetään CNC-työstökoneiden liikkeiden simulointiin. VERICUTin avulla voidaan havaita NC-koodissa olevia virheitä, mahdollisia törmäyksiä ja tehostaa ohjelmaa. Koska ensimmäiset NC-koodin koeajot suoritetaan simulaatiossa, säästetään koneaikaa, teriä ja materiaalia. Simulaation käyttäminen myös helpottaa NC-koodin optimoimista, VERICUT ilmoittaa muun muassa kappaleen valmistukseen kuluvan kokonaisajan, ja ilmakoneistusajan. VERICUTilla voi simuloida kaiken tyyppisiä CNC-työstökeskuksia, mukaan lukien johtavat työstökonevalmistajat kuten Makino, DMG Mori / Seiki ja Mazak. [4.]

2.1 VERICUT-moduulit

VERICUT-lisenssien tarve ja käyttötarkoitus vaihtelee käyttökohteiden mukaan. Ohjelman modulaarinen rakenne mahdollistaa ohjelman räätälöimisen asiakkaan tarpeisiin. Mikäli tarpeet muuttuvat, on mahdollista hankkia lisenssi kyseiseen käyttötarkoitukseen, ja siten lisätä VERICUTin simulointimahdollisuuksia. [5, s. 9.]

Verification

Verification-moduuli on VERICUT-ohjelman perusta, moduulin avulla voi tarkistaa 3-akseliijyrsintään ja 2-akselisorvaukseen tarkoitettuja NC-ohjelmia. Törmäyksen tai muun virheen sattuessa VERICUT merkkää loppuraporttiin ongelman aiheuttaneen koodirivin. Moduuli mahdollistaa myös NC-ohjelmalla ajetun kappaleen lopputarkastelun 3D-mallina. Mallista voi ottaa myös poikkileikkauksia, esimerkiksi reikien syvyyden tarkistamiseksi. Moduuliin kuuluu myös työkalusimulaatio. [6.]

Machine simulation

Machine simulation-moduuli mahdollistaa työstökoneen kokonaisvaltaisen simuloinnin VERICUTissa. Moduuli tunnistaa työstökoneen komponenttien kuten akseliluistien, karan, pyöröpöydän, työkalunvaihtajan, kiinnittimien, aihoiden sekä työkalujen törmäys- ja läheltä piti tilanteet. Komponenttien säädettävien turva-alueiden avulla voidaan tarkastella läheltä piti-tilanteita, ja esimerkiksi liikealueiden ylityksiä. [7.]

OptiPath

Simulaatioprosessin aikana VERICUT kerää tietoa jokaisen leikkauksen syvyydestä, leveydestä ja kulmasta. Simulaatiosta VERICUT myös laskee kuinka paljon materiaalia poistetaan työstöratujen missäkin vaiheessa. Näitä tietoja käyttäen OptiPath-moduuli jakaa työstöradan segmentteihin. Materiaalin poistomäärän perusteella OptiPath säättää terän syötön työstöön sopivaksi, koordinaattikohtaisesti. Moduuli ei muuta työstöradan reittiä, vaan pelkkiä syöttöarvoja. Kun työkalua käytetään ensimmäisen kerran OptiPathin kanssa, syötetään terän arvot, kuten materiaali, hammasluku, pituus ja optimi syöttönopeus, ohjelmaan. Syötetyt arvot säilyvät kirjastossa teräkohtaisesti. OptiPath vertailee poistetun materiaalin määrää, ja lisää tai laskee syöttönopeutta pitäen poistetun materiaalin määrän sallituissa rajoissa työstön ajan. [8.]

Force

VERICUT Force-moduuli määrittää maksimi luotettavan syöttönopeuden neljän tekijän perusteella: lastuamisvoima, karateho, maksimi lastuamissyvyys, maksimi sallittu syöttönopeus. Ideaali syöttönopeus lasketaan muun muassa terän geometrian ja ominaisuuksien sekä terän ja aihion materiaalin perusteella. Moduuli simuloi koneistusolosuhteita ottamalla huomioon myös kitkasta ja lämpötilasta johtuvat materiaalin ja terän ominaisuuksien muutokset. Materiaaliarvot ovat aidoissa testitilanteissa mitattua dataa, näin ollen saadaan aikaan mahdollisimman tarkka simulaatio. [9.]

Model Export

Model Export-moduuli mahdollistaa simuloitujen VERICUT-mallien tallentamisen CAD-malleina. VERICUT-mallin voi tallentaa IGES- ja STL-muodossa, tai sopivien moduulien kanssa myös CATIA V5-, CATIA V4-, STEP- tai ACIS-formaatissa. Mikäli koneistettava kappale on sen tyyppinen, että sitä joudutaan koneistamaan useammalta puolelta, tallennettuja malleja voi hyödyntää seuraavan vaiheen kiinnityksiä suunniteltaessa, koneistusratojen suunnittelussa ja koneistuksen simulaatiossa, käyttämällä tallennettuja malleja seuraavan vaiheen aihioina. [10.]

Multi-Axis

Liikkuvien akselien lukumäärän kasvaessa, myös NC-ohjelmien monimutkaisuus ja työstökoneen törmäysriski kasvaa. Multi-Axis-moduuli mahdollistaa neli- ja viisiakselisten työstökoneiden simuloinnin ja NC-koodin tarkistuksen. Moduuli tukee myös synkronoituja sorvausoperaatioita, eli operaatioita joissa kappaletta sorvataan useammalla työkalulla samaan aikaan. Verrattuna tavalliseen Verification-moduulin simulaatioon, Multi-Axis-moduuli havaitsee törmäykset ja kappaleesta otettavat lastut myös työstökoneen pöydän pyörimisakseleiden A, B ja C liikkeiden aikana. [11.]

CNC Machine Probing

CNC Machine Probing-moduulin avulla on mahdollista tehdä mittaustyökiertoja turvallisesti pelkäämättä, että mittaustyökalun runko törmää kesken työkierron kappaleeseen tai kiinnittimeen. Moduuli huomaa myös NC-ohjelmassa tapahtuneet virheet, esimerkiksi jos mitta-anturi ei ole mittaustilassa tai kara pyörii. CNC Machine Probing-moduuli sopii muun muassa seuraaviin käyttötarkoituksiin: aihoiden mittaamiseen ja aihion koon muutoksiin mukautumiseen, työkalurikkojen huomaamiseen sekä kriittisten mittojen tarkistamiseen. Tyypillisesti mitä aikaisemmin laatuvirheet huomataan tuotannossa, sitä helpompaa ja halvempaa tilanne on korjata. [12.]

Inspection Sequence

Inspection Sequence-moduuli tarjoaa mahdollisuuden käyttää VERICUTin simulaatiossa osittain koneistettuja, in-process (IP), malleja apuna laadunvalvonnassa. Mikäli kappaleesta tarkistetaan mittoja esimerkiksi ennen toisen vaiheen kiinnitystä, voi VERICUT-simulaatiosta liittää kyseisen vaiheen IP-mallin mittauspöytäkirjaan havainnollistamaan mitattavia kohtia. Mittauspöytäkirjaan tulevat nimellisarvot, joihin kappaleesta mitattuja arvoja verrataan, saadaan myös IP-mallista. [13.]

VERICUT Reviewer

VERICUT Reviewer on muusta VERICUT-ohjelmasta irrallinen moduuli, joka ei tarvitse lisenssiä. Moduulilla voi avata VERICUTissa tarkistettujen NC-koodien simulaatioista luotuja Reviewer-tiedostoja. Reviewer mahdollistaa työstökoneen käyttäjälle VERICUT-simulaation tarkastelun ennen ensimmäistä koeajoa, varaamatta VERICUT- lisenssejä. Ohjelman avulla selviää muun muassa NC-ohjelmassa käytettävät työkalut, ja ohjelman läpimenoaika. [14.]

EDM Die Sinking

EDM Die Sinking-moduuli simuloi muottien kipinätyöstöprosessia. Simulaatioon tarvitaan 3D-mallit työstettävästä ahiosta ja koneistetuista elektrodeista, sekä elektrodin ja aihion välin jätettävä kipinöintiväli. Moduuli ilmoittaa poistetun aineen määrän, ja yhdessä AUTO-DIFF-moduulin kanssa käytettynä työstettyä kappaletta on helppo verrata valmiin kappaleen 3D-malliin. Malleja vertailemalla voi havaita elektrodien päällekkäiset työstöt ja alueet, joissa materiaalia on poistettu liikaa tai liian vähän. [15.]

AUTO-DIFF

AUTO-DIFF-moduuli mahdollistaa suunnitellun CAD-mallin ja VERICUT-simulaatiossa työstetyn kappaleen automaattisen vertailun. Moduuli vertaa malleja ja merkkää kohdat joissa mallit eivät vastaa toisiaan. AUTO-DIFF-moduuli nopeuttaa ja helpottaa suunniteltua kappaletta vastaavan NC-ohjelman tekemistä, muun muassa kappaleessa olevat viisteet, ja muut pienet yksityiskohdat saattavat jäädä huomaamatta NC-ohjelman ensimmäisessä versiossa, mikäli malleja ei vertailla. Puutteellisilla työstöradoilla valmistettujen kappaleiden puuttuvat piirteet huomataan vasta ensimmäisen koeajon jälkeen, tai vasta kappaletta validoitaessa, jolloin virheellisiin kappaleisiin on jo käytetty turhaan koneaikaa ja materiaaleja. AUTO-DIFF-moduulilla voi vertailla VERICUT-simuloituja kappaleita solid- ja pintamalleihin, sekä koordinaattimittauskoneella mitattuihin piste-malleihin. [16.]

Cutter/Grinder

Cutter/Grinder-moduuli simuloi terän hiomisprosessin ja havaitsee ohjelmassa olevat virheet, kuten törmäykset ja liialliset aineenpoistot. Simulaation jälkeen hiomisoperaation tuloksista voi ennen koneistusta käydä läpi tarkemman analyysin ja päätellä, onko terä halutunlainen. Moduuli voidaan integroida toimimaan samasta käyttöliittymästä hiomakoneiden ohjelmoinnissa käytettävien järjestelmien, kuten NUMROTOplus ja Schütte kanssa. [17.]

CAD/CAM Interface

CAD/CAM Interface-moduuli lisää valitun CAM ohjelman käyttöliittymään siirtominaisuuden VERICUT-ohjelmaan. Ominaisuuden avulla on mahdollista siirtää CAM-ohjelmaan tuotuja kokoonpanoja ja luotuja NC-ohjelmia suoraan yhtenä pakettina VERICUT-simulaatioon. Siirto-ohjelmassa käydään läpi seuraavat vaiheet: Valitaan työstökonekohtainen projektipohja. Valitaan kappaleen kiinnitysvaiheet, mikäli niitä on useampi kuin yksi. Merkataan kokoonpanosta aihiot, valmiit kappaleet ja kiinnittimet omiin ryhmiinsä. Tuodaan kappaleen nollapistetaulukko. Tuodaan kappaleen NC-ohjelma ja aliohjelmat, mikäli semmoisia on. Näiden vaiheiden jälkeen käynnistetään siirtoprosessi.

VERICUT CAD/CAM interface-moduulin tukemia ohjelmistoja ovat

- Dassault Systems – CATIA
- Siemens PLM – NX
- PTC – Creo Parametric
- CNC Software – Mastercam
- Vero Group – Edgecam & surfcam
- Autodesk – PowerMILL & FeatureCAM
- OPEN MIND – hyperMILL
- Cimatron – GibbsCAM & CimatronE
- Missler – TopSolid'Cam
- Autodesk – FeatureCAM
- DP Technology – ESPRIT
- CGS – CAM-TOOL
- Geometric – CAMWorks
- SolidCAM
- NCG CAM Solutions. [18.]

Model Interfaces

Ilman lisämoduuleita VERICUTin avulla voidaan avata ja käyttää STL-, IGES-, VDA-FS- ja DXF-tiedostoja. 3D-malleja voidaan käyttää aihiona, kiinnittimenä, suunnittelu kappaleena, työkalupitimenä tai konemallina. Model Interfaces-moduulit mahdollistavat valittujen 3D-mallinnusohjelmien tiedostojen käyttämisen VERICUTissa. Moduulit lisäävät käytettäviksi formaatit: STEP, ACIS, Creo, SolidWorks, CATIA V4, CATIA V5 ja NX. Yhdessä käytettynä Model Export-moduulin kanssa, VERICUT simuloituja kappaleita voidaan tallentaa myös edellä mainittujen 3D-mallinnusohjelmien formaateissa. [19.]

VNCK Interface

VNCK Interface-moduulin avulla Siemensin 840D Virtual NC Kernel (VNCK) voidaan integroida VERICUT-ohjelmaan. Simulaatiossa tapahtuvia liikeitä emuloi tällöin Siemensin SINUMERIK 840D-ohjaus, VERICUTin oman ohjauksen sijaan. Tämä mahdollistaa 840D-ohjelmointikielen kokonaisvaltaisen käytön simulaatiossa. Samaa ohjausta käyttämällä minimoidaan koneen liikkeiden aikaerot simulaation ja fyysisen välillä, esimerkiksi työkalunvaihdossa tai akseleiden käännössä. Koska simulaatiota ohjaa VNCK, eikä VERICUTin oma ohjaus, Optipath- ja CNC Machine Probing-moduuleja ei voida käyttää samanaikaisesti VNCK Interface-moduulin kanssa. [5; 20.]

Composite Applications

Composite Applications-moduulit tarjoavat kattavan ohjelmiston automatisoidussa komposiittikuidun asetuksessa (Automated Fiber-Placement/AFP ja Automated Tape-Laying/ATL) syntyviin ohjelmointi- ja simulaatiotarpeisiin. Useimmat AFP- tai ATL-koneiston käyttäjät ohjelmoivat asetusprosesseja ohjaavan NC-koodin koneen valmistajan tarjoamalla ohjelmalla. Mikäli yrityksessä on käytössä eri brändiä tai eri valmistusvuodelta olevia laitteita, NC-koodin luomisessa joudutaan käyttämään useampaa, laitekohtaista ohjelmistoa. VERICUT Composite Applications-moduulin avulla NC-ohjelmoijan tarvitsee vain opetella yksi ohjelma, jota käyttämällä hän voi luoda NC-ohjelmia kaikille käytössä oleville AFP- ja ATL-koneille, brändistä riippumatta. [21; 22.]

VERICUT Composite Applications-moduuliin kuuluu kaksi osaa, VERICUT Composite Programming (VCP) ja VERICUT Composite Simulation (VCS). VCP-moduulia käytetään NC-ohjelmien luontiin. VCP laskee CAD-pintamallin, kuituteipille rajatun alueen, ja käyttäjäkohtaisten valmistus- ja vaatimusstandardien perusteella liikeradat tuotannossa käytettävälle robotille. Liikeradat linkitetään yhteen, ja postprosessoidaan NC-koodiksi. VCS-moduulia sen sijaan käytetään automatisoidun komposiittikuidun asetusprosessin simulointiin. CAD-malleja ja NC-ohjelmia käyttäen VCS pystyy simuloimaan NC-ohjelman työvaiheet virtuaalikoneella, mukaan lukien liikkeitä kuten teippauspään vaihdot sekä mittaus- ja leikkuutyökierrot. Simuloidusta työradoista voidaan mitata ja tarkistaa ladotun komposiittimateriaaliin liittyviä piirteitä ja varmistaa, että NC-ohjelmassa ei ole virheitä. [21; 22.]

Drilling & Fastening

VERICUT Drilling & Fastening (VDAF) on CNC-automatisoitujen poraus- ja niittauskoneiden ohjelmointiin ja simulointiin tarkoitettu moduuli. VDAF on yhteensopiva kaikkien koneiden ja CAD-ohjelmien kanssa. Moduuli auttaa välttämään robotin törmäyksiä työstettävän kappaleeseen, kappaleen kiinnittimiin ja kappaleeseen lisättyihin niitteihin. Simuloimalla robottia ohjaava NC-ohjelma, havaitaan myös jos ohjelmassa on esimerkiksi seuraavanlaisia työstöön liittyviä virheitä:

- Porattu reikä tai niitti on väärässä paikassa.
- Paikoitus on oikea, mutta reikä tai niitti on väärän kokoinen.
- Pora ei ole läpäissyt porattavaa materiaalia.
- Materiaaliin nähden on käytetty väärää niittiä. [23.]

Additive

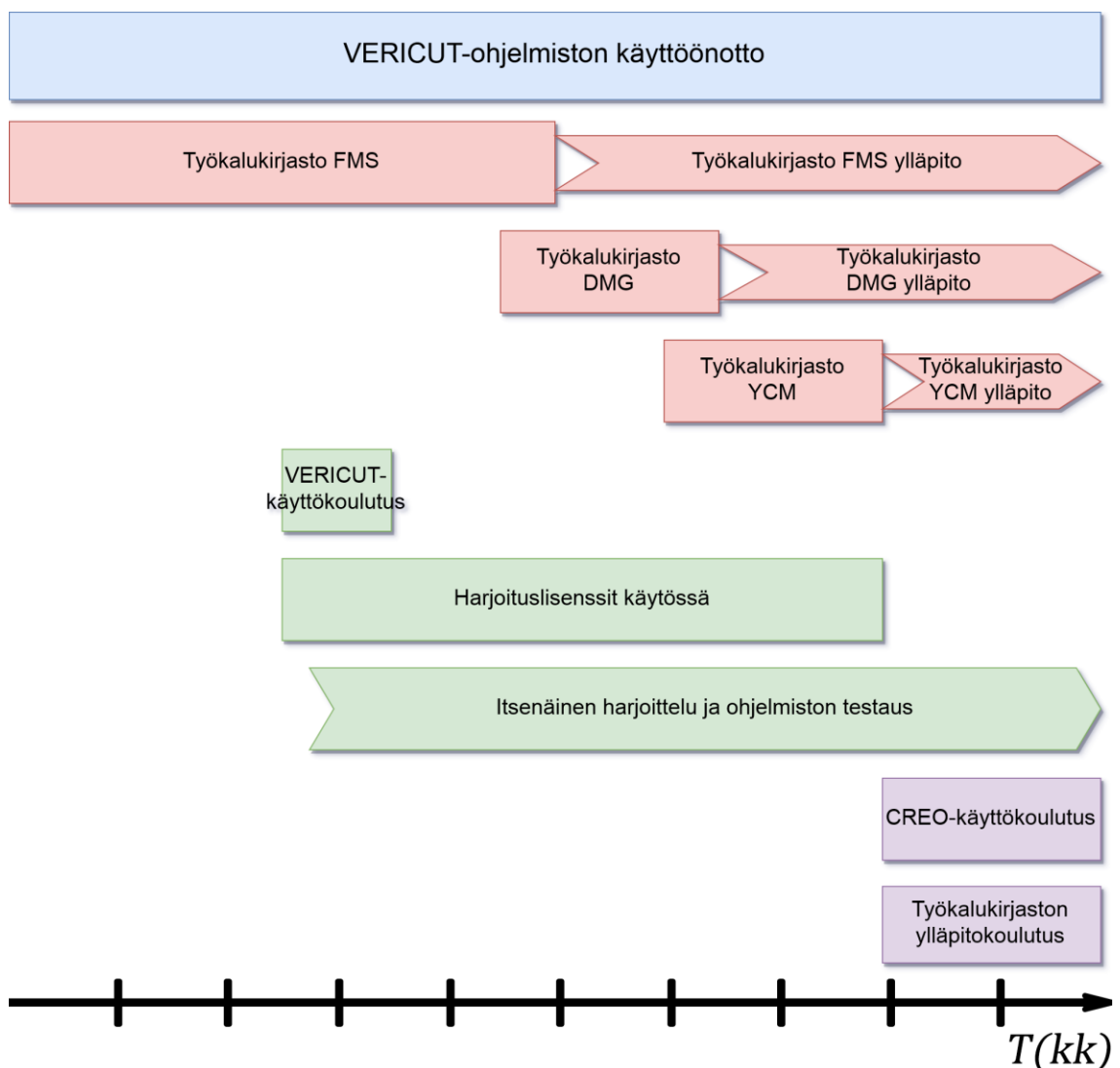
Additive-moduuli simuloi hybridityöstökoneiden perinteisiä lastuavia menetelmiä, sekä uusia, materiaalia lisääviä menetelmiä. Moduuli tukee 5-akseliijyrsintää, sorvausta ja materiaalia lisäävää laserkerrostusta. Simulaatio havaitsee törmäykset työstökoneen työkalujen ja kiinnittimen välillä, sekä huomioi törmäystarkistelussa myös laserkerrostuksella lisätyn materiaalin. Mikäli työstöä ohjaavassa NC-ohjelmassa on virhe, kappaleesta puuttuu materiaalia, tai laserilla on lisätty materiaalia väärään paikkaan, VERICUT Loggerista havaittua virhettä painamalla päästään NC-koodin riville, jossa virhe tapahtuu. [24.]

2.2 Tuetut työkalunhallintajärjestelmät

VERICUT-ohjelman tukemia työkalunahallintajärjestelmiä ovat Teamcenter, WinTool ja TDM Systems. Järjestelmäkohtaisien moduulien avulla järjestelmiin tallennetut 3D-työkalukokoonpanot voidaan siirtää VERICUT-työkalukirjastoihin, työstökonesimulaatiossa käytettäväksi. Työkalunhallintajärjestelmiin kerätään käytössä olevien työkalujen lisäksi varastossa olevien työkaluelementtien 3D-mallit. Tieto käytettävissä olevista työkaluelementeistä helpottaa oikeanlaisen työkalun rakentamista ja valitsemista NC-koodia ohjelmoitaessa. [25; 26; 27.]

3 Projektin määrittely

Insinööriyön tarkoituksena oli suorittaa VERICUT-ohjelman käyttöönotto. Projekti on jaoteltu kolmeen eri osa-alueeseen, työkalujen inventointiin ja työkalukirjaston luontiin, VERICUT-ohjelman käytön harjoitteluun, sekä järjestelmän ylläpidon kouluttamiseen. Kuvan 1 projektikaavio havainnollistaa käyttöönoton vaiheita. Projektikaaviossa työkalujen inventointiin ja työkalukirjaston luontiin liittyvät osat ovat merkitty punaisella, VERICUT-ohjelman käytön harjoitteluun liittyvät osat vihreällä, sekä järjestelmän ylläpitoon luovuttamiseen liittyvät osat violetilla. Projektikaaviossa nuolella merkityt vaiheet edustavat ohjelman käyttöön ja ylläpitoon liittyvää jatkuvaa toimintaa.



Kuva 1. Projektikaavio VERICUT- ohjelman käyttöönoton vaiheista.

4 VERICUT-ohjelman käyttöönotto

4.1 Tavoitteet

Työstökonesimulaation käyttöönoton tavoitteiksi listattiin uusien NC-ohjelmien koeajo-prosessin nopeuttaminen, työstökoneella tapahtuvien törmäysten estäminen ja NC-ohjelman analysointi. Varsinkin palettiajossa työstökoneelle syötettävät NC-ohjelmat on tärkeää analysoida törmäysten ja muiden virheiden varalta.

Palettiajossa käytettävä NC-koodi ohjelmoidaan luomalla ensin yhdelle paletissa olevalle kappaleelle työstöradat CAM-ohjelmassa, minkä jälkeen työstöradat monistetaan muille paletin kappaleille CIMCO-tekstieditoria käyttäen. Kappaleiden nollapistet mitataan työstökoneessa olevalla mitta-anturilla palettiin kiinnitetyistä kappaleen aihioista, ja kirjataan NC-ohjelmaan. Mikäli nollapisteen mittauksessa paletista, tai nollapisteen kirjauksessa NC-ohjelmaan tapahtuu virhe, ohjelman ajaminen työstökoneella johtaa todennäköisesti törmäykseen. Mikäli työstöratojen monistamisessa tapahtuu virhe, se johtaa todennäköisesti törmäykseen, tai työstökoneen hälytyksen laukeamiseen syntaksivirheen takia. VERICUT-ohjelman käyttöönoton avulla, vastaavanlaisten virheet havaittaisiin ennen NC-ohjelman siirtämistä työstökoneelle.

4.2 Investoinnit

Simuloinnissa käytettäväksi valitut työstökoneet Makino A77, DMG Mori DMC 65 monoBLOCK ja YCM FX380A sekä niiden ominaisuudet määrittelivät VERICUT-ohjelman käyttöönottoon vaadittavat moduulilisenssit, konemallit ja niihin liittyvät ohjaukset. Lisäksi investointeja tehtiin lisätoimintoihin, jotka liittyivät virhetarkasteluun ja VERICUT- ja CAM-ohjelmiston väliseen yhteyteen sekä koulutuksiin, jotka koskivat ohjelman käyttöä.

Työstökoneiden konemallit ja ohjaukset tarkoittavat VERICUT-ohjelmassa työstökoneiden 3D-kokoonpanoja ja logiikkaa, joka tulkitsee NC-ohjelmia ja ohjaa työstökoneita. Ohjaukseen on muun muassa määritelty työstökoneen maksimiliikealueet, työstökoneen osien liikenopeudet sekä muita NC-ohjelmien virhetarkastelussa ja läpimenoaikojen arvioinnissa tarvittavaa tietoa.

Hankittuja konemalleja ja ohjauksia olivat

- Fanuc 16i-ohjauksella toimiva Makino A77
- Heidenhain TNC640-ohjauksella toimiva DMG Mori DMC 65 monoBLOCK
- Heidenhain TNC530-ohjauksella toimiva YCM FX380A.

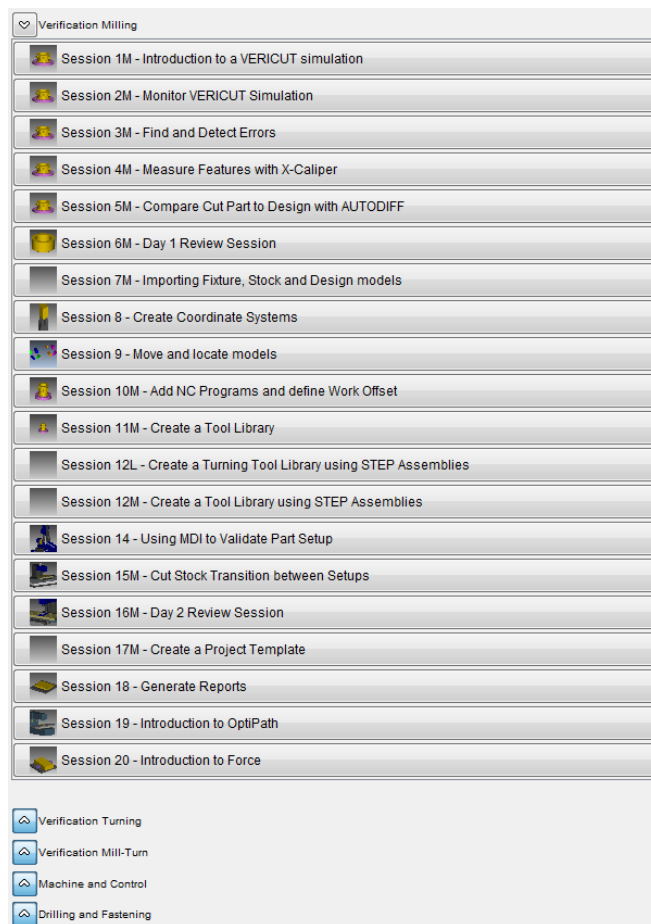
Hankitut VERICUT-moduulilisenssit valittiin vastaamaan edellä mainittujen työstökoneiden ominaisuuksia, sekä työstökoneilla ajettavien NC-ohjelmien työstöoperaatioita. Työstökonesimulaation tuli tukea neli- ja viisiakselisille työstökoneille tehtyjä NC-ohjelmia, sekä simuloida työstökoneen osien liikkeitä. Työstökoneista Makino A77 on neliakselinen, DMG Mori DMC 65 monoBLOCK sekä YCM FX380A ovat viisiakselisia. Kaikilla työstökoneilla ajetaan NC-ohjelmia, joiden työkierrossa käytetään kosketusanturia. Simulaation piti täten pystyä myös tarkistamaan mittaustyökiertoja. Tarvittavat työstöoperaatiot sekä törmäystarkastelun kattavat VERICUT-moduulilisenssit olivat Verification, Machine Simulation, Multi-Axis ja CNC Machine Probing.

Simuloitujen NC-ohjelmien virhetarkastelua haluttiin nopeuttaa ja helpottaa AUTO-DIFF-moduulia käyttämällä, ja CAM-ohjelmoinnissa käytettävän MasterCAMin tiedostojen siirtämisestä VERICUTiin haluttiin helpottaa Mastercam Interface-moduulin avulla. VERICUT-ohjelman käyttökoulutuksen pituudeksi sovittiin viisi päivää, kahdessa jaksossa. Käyttökoulutuksen alkaessa ohjelman käyttäjille aktivoitiin harjoituslisenssit ohjelman käytön harjoittelua varten.

4.3 Toteutus

Työstökonesimulaation käyttöönottoprojektia lähdettiin toteuttamaan ohjelman maa-hantuojan järjestämän VERICUT-käyttökoulutuksen avulla. Koulutuksen tavoitteena oli tutustua ohjelman ominaisuuksiin ja mahdollistaa ohjelman käyttäjien itsenäinen työskentely VERICUTia käyttäen.

Ensimmäinen käyttökoulutusjakso kesti kolme päivää, ja käyttökoulutuksen kahtena ensimmäisenä päivänä käytiin läpi VERICUT Training-valikosta löytyviä harjoituksia kategoriaan Verification Milling liittyen. Verification Milling-kategorian harjoitukset 1M – 17M (kuva 2) kattavat perusominaisuudet, joiden avulla käyttäjän on mahdollista siirtyä koettelemaan taitojaan käytännön harjoituksissa.



Kuva 2. VERICUT Training-valikko.

Harjoitusta varten oli valittu koneistamon Makino A77-työstökoneilla ajettava NC-ohjelma, jonka paletista ja työkaluista oli valmiiksi tehdyt 3D-mallit. Harjoitus vastaa suurilta osin prosessia, joka tehdään kun VERICUTin avulla simuloidaan uuden NC-ohjelman koeajo. Hallitsemalla nämä vaiheet VERICUTin peruskäyttö on mahdollista. Harjoituksessa käyttäjän piti luoda VERICUT-projekti, jossa edellä mainittu NC-ohjelma simuloitaisiin. Harjoituksen vaiheet olivat

1. Oikean työstökonepohjan valitseminen
2. Paletin 3D-kokoonpanon siirtäminen STEP-muodossa VERICUTiin
3. Paletin oikean asemoinnin varmistaminen
4. 3D-kokoonpanon osien jaottelu kiinnittimiksi, aihioiksi ja mallikappaleiksi
5. Työstökonekohtaisen työkalukirjaston valitseminen
6. NC-ohjelman ja mahdollisten aliohjelmien lisääminen projektiin
7. Simuloinnin ja mahdollisen virhetarkastelun suorittaminen.

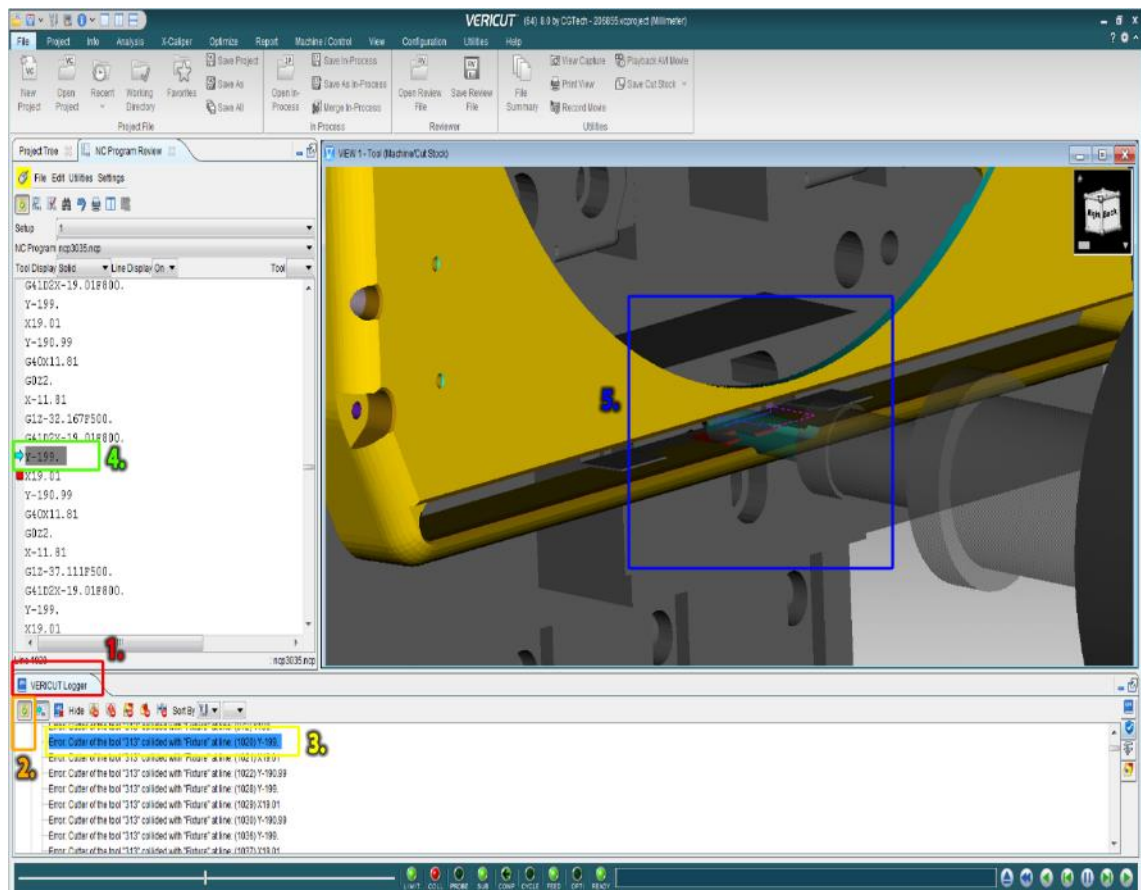
Ensimmäisen käyttökoulutusjakson jälkeen käyttäjillä oli 3 viikkoa aikaa harjoitella itse-
näisesti ohjelman käyttöä ja omaksua läpikäytyjen harjoitusten sisältö. Tässä ajassa
heränneet kysymykset ja kohdatut ongelmat käsiteltäisiin seuraavalla käyttökoulutus-
jaksolla.

VERICUT käyttökoulutuksen toisessa jaksossa paneuduttiin tarkemmin koneistamon
DMG Mori DMC 65 monoBLOCK- ja Makino A77-työstökoneilla ajettaviin NC-ohjelmiin.
Lisäksi kerrattiin ohjelman ominaisuuksia, jotka tuntuivat käyttäjistä hyödyllisiltä, mutta
vaativat käytännön harjoitusta. Harjoituksen kohteena oli muun muassa VERICUT
Loggerin ja NC-Reviewerin käyttö virhetarkastelussa, simulaation ajon jälkeen. VERI-
CUT Logger kirjaa ylös simulaatiossa tapahtuneiden virheiden rivit NC-ohjelmassa ja
kuvauksen siitä, minkä tyyppinen virhe rivillä tapahtui. NC-Reviewer-toiminnon avulla
simulaatiota voi ajaa myös taaksepäin. Toimintoa yhdessä VERICUT Loggerin kanssa
käyttäen päästään siirtymään simulaatiossa taaksepäin, virheeseen johtavalle koodiri-
ville (kuva 3).

Virheiden analysoinnista on myös apua kiinnitinsuunnittelussa. Väistöjä tehdessä kiin-
nittimestä poistetaan materiaalia, minkä seurauksena kiinnityksen jäykkyys pienenee.
Simulaation perusteella pystytään määrittämään tarvittavien väistöjen tarkat paikat ja
suuruudet, jolloin kiinnittimestä ei poisteta turhaan liian paljon materiaalia.

Virhetarkastelu tapahtuu vaiheittain kuvassa 3 esitetyllä tavalla.

1. Valitaan VERICUT Logger-välilehti
2. Painetaan NC-Review-tila päälle
3. Valitaan VERICUT Loggerin riviltä virhe, jota halutaan tarkastella
4. NC-Program Reviewer näyttää NC-ohjelman rivin jossa virhe tapahtuu
5. Simulaatio-näkymästä nähdään, että terä osuu kiinnittimeen.



Kuva 3. VERICUT Loggerin käyttö virheiden analysoinnissa.

Työstökonesimulaation käyttöönoton myötä ohjelman avulla saavutetuista säästöistä ryhdyttiin pitämään kirjaa VERICUT-käyttäjien esimiehen toimesta. Hyötyseurannassa ilmoitetut säästöt koostuivat koeajon nopeutumisista, törmäyksien estämisestä, ohjelmointivirheiden välttämisestä sekä teräpituuksien optimoinnista laadun parantamista varten. Suurimmat säästöt saavutetaan törmäyksien estämisestä. Törmäykset vähimmillään alentavat työstökoneen geometrista tarkkuutta, ja pahimmillaan rikkovat karan tai muita työstökoneen osia. Työstökoneen geometrisen tarkkuuden alennuttua liikaa, työstettävistä kappaleista ei enää saada mittatarkkoja. Hyötyseurannassa on arvioitu, että törmäyksen hinta on kymmenesosa uuden karan hinnasta. Tehty arvio tarkoittaa sitä, että kymmenen törmäyksen jälkeen työstökoneen geometrinen mittatarkkuus on alentunut niin paljon, että kara joudutaan vaihtamaan.

4.4 Ongelmatilanteet

Ohjelman käyttöönottoprojektin aikana kohdattiin ongelmia, jotka liittyivät virtuaalityöstökoneiden ohjaukseen, simuloitujen ohjelmien läpimenoajoissa oleviin virheisiin sekä palettien 3D-malleissa oleviin puutteisiin. Ohjaukseen liittyvät virheet ilmenivät simulaatiossa syntyvinä törmäyksinä, vaikka kyseinen NC-ohjelma oli koeajettu työstökoneella onnistuneesti.

Ohjauksen havaituista virheistä kaksi liittyi DMG Mori DMC 65 monoBLOCKin ohjaukseen ja yksi FMS MAKINO A77:n ohjaukseen. DMG:hen liittyvistä virheistä molemmat ilmenivät manuaalisesti Heidenhain iTNC-ohjelmointiasemalla ohjelmoiduissa työkierröissä. MAKINO A77 virtuaalityöstökoneessa havaituista simulaativirheistä toinen johti simulaatiossa törmäykseen ja toinen VERICUT Logger-virheilmoitukseen. DMG:hen liittyvät ohjausvirheet on jo korjattu maahantuojaan puolesta, Makino A77:n ohjaukseen liittyvästä virheestä ei ole vielä tätä teosta kirjoitettaessa lähetetty korjauspyyntöä. [28.]

Ohjelmien läpimenoajoissa oleva epätarkkuus kumuloituu, CGTechin Lee Fowkesin mukaan, muun muassa työstökoneen karan nopeuden muutoksista, kehtopöydän liikkeistä, työkierröissä tehdyistä lastunkatkaisuista ja työkalunvaihdosta. Työstökonesimulaation ohjaukseen ei pysty alkutilanteessa määrittelemään tarkkaa aikaa, joka kuluu esimerkiksi edellä mainituissa toimenpiteissä, koska se vaihtelee työstökonekohtaisesti. Työstökoneella ajettavia NC-ohjelmia pitäisi videoida ja tallennetta analysoida kirjaten ylös ajat, jotka jokaiseen työvaiheeseen kuluu. Mitattuja aikoja sen jälkeen verrataan simulaation läpimenoaikaan, ja mitatut sekunnit lisätään simulaatiossa operaatioihin, joista ne puuttuvat. VERICUTin Machine/Control-välilehdestä löytyvän G-Code Processing-valikon avulla näitä "DwellTime"-muuttujia lisätään simulaatiossa toimenpiteisiin, joissa huomataan olevan aikaeroja virtuaalityöstökoneen ja työstökoneen välillä. Läpimenoaikoihin liittyvä videointi, ja videosta pääteltävien koneaikojen analysointi kuuluu käyttäjän vastuulle, ja virtuaalityöstökoneen ohjauksen muuttaminen näiden aikojen perusteella maahantuojalta. [29.]

Palettien 3D-malleja koskevat ongelmat ilmenivät, kun vanhoihin NC-ohjelmiin muokattiin purseenpoistoon liittyviä työstöratoja. FMS-järjestelmän kaikkia paletteja ei ollut mallinnettu sellaiseen muotoon, jossa ne olivat käytössä työstökoneella. Kaikkien palettien kiinnittimet ja niiden avulla koneistettavat nimikkeet oli mallinnettu, mutta kyseisiä kiinnittimiä ei ollut koottu todellisuutta vastaavaksi palettikokoonpanoksi. Lisäksi jois-

sain mallinnetuissa paleteissa kiinnittimen paikoituksessa oli selvästi eroa verrattuna todellisuuteen, tällaisissa tapauksissa paletin kiinnittimiä joudutaan liikuttamaan joko VERICUTin, tai Creon puolella oikealle paikalleen, jotta ohjelma voidaan simuloida.

5 Työkalukirjasto

5.1 Tavoitteet

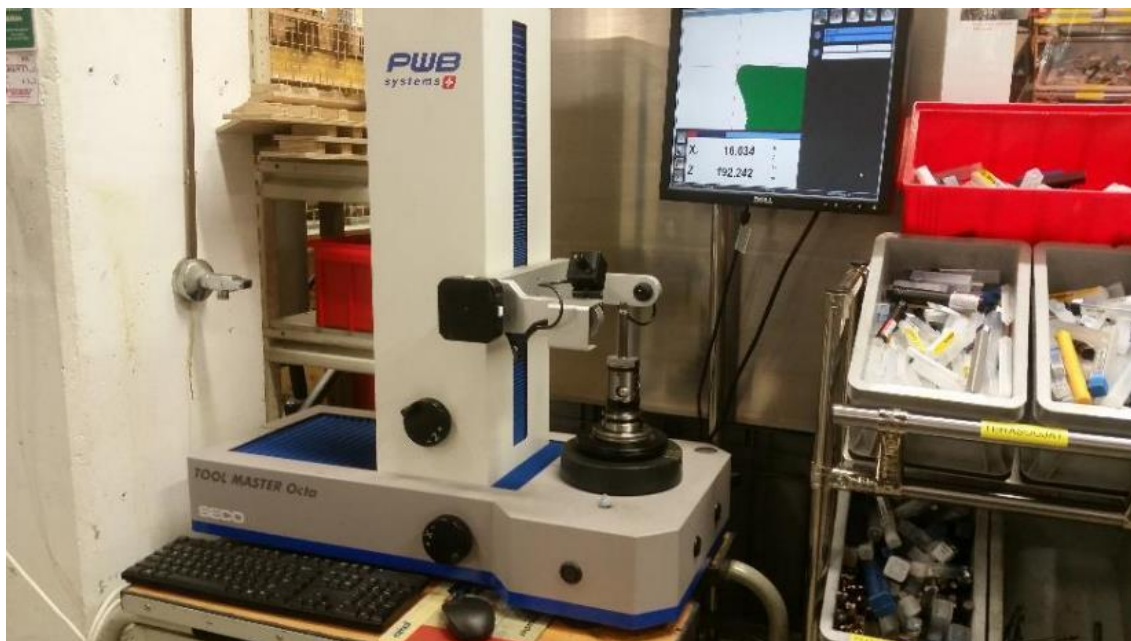
Työkalukirjastoon liittyvän projektin osa-alueen tavoitteena oli VERICUT-simulaatiossa käytettävien työstökoneiden työkalujen elementtien 3D-mallintaminen ja näitä elementtejä käyttäen VERICUT-työkalukirjaston rakentaminen. Työkalujen mallintamisen mahdollistamiseksi työkaluista tehtäisiin inventaario, jossa kerättyä informaatiota voitaisiin käyttää esimerkiksi työkalumakasiinien yhtenäistämiseen ja turhien työkalujen poistamiseen makasiinista.

5.2 Työkalujen inventaario

Kaikkien inventaariossa mitattujen ja tarkistettujen työkalujen tiedot kerättiin Excel-taulukkoon. Inventaariossa tarkistettiin työkalujen pidin, mahdollinen jatkovarsi ja terä. Työkalupitimien tyyppi, merkki ja mallinumero kirjattiin ylös. Mikäli työkalupitimessä ei ollut valmistajan merkintöjä, siitä piirrettiin mittakuva.

Kun työkalupitimien tiedot oli kirjattu ylös, haettiin valmistajien verkkosivuilta ja katalogeista tietoa pitimien mitoista. Tyypillisesti Kennametallin [30] ja SECON [31] työkalupitimistä ja jatkoista löytyi valmistajien sivuilta 3D-mallit STEP- tai X_T-tiedostoina. Gewefan [32], Zürnin [33] ja Kintekin [34] sekä muiden valmistajien [35; 36; 37; 38; 39; 41], pitimien mitat jouduttiin hakemaan valmistajien katalogeista, joiden mitoitus oli usein puutteellista. Pelkän katalogin perusteella todellisuutta vastaavaa 3D-mallia ei voinut luoda, joten puuttuvat mitat täytyi käydä mittaamassa työkalusta.

Työkalujen jatkovarsista mitattiin varren ulkonema työkalupitimeen nähden, tai tapauksissa, joissa työkalupitimen ulkopinnasta oli kappaleen geometrian vuoksi vaikea saada mittaa, jatkon ulkonema mitattiin työkalun nollapisteen suhteen. Työkalun nollapisteen suhteen mitattaessa käytettiin erillistä mittalaitetta (kuva 4).



Kuva 4. PWB-systems TOOL MASTER Octa-esiasetuslaite.

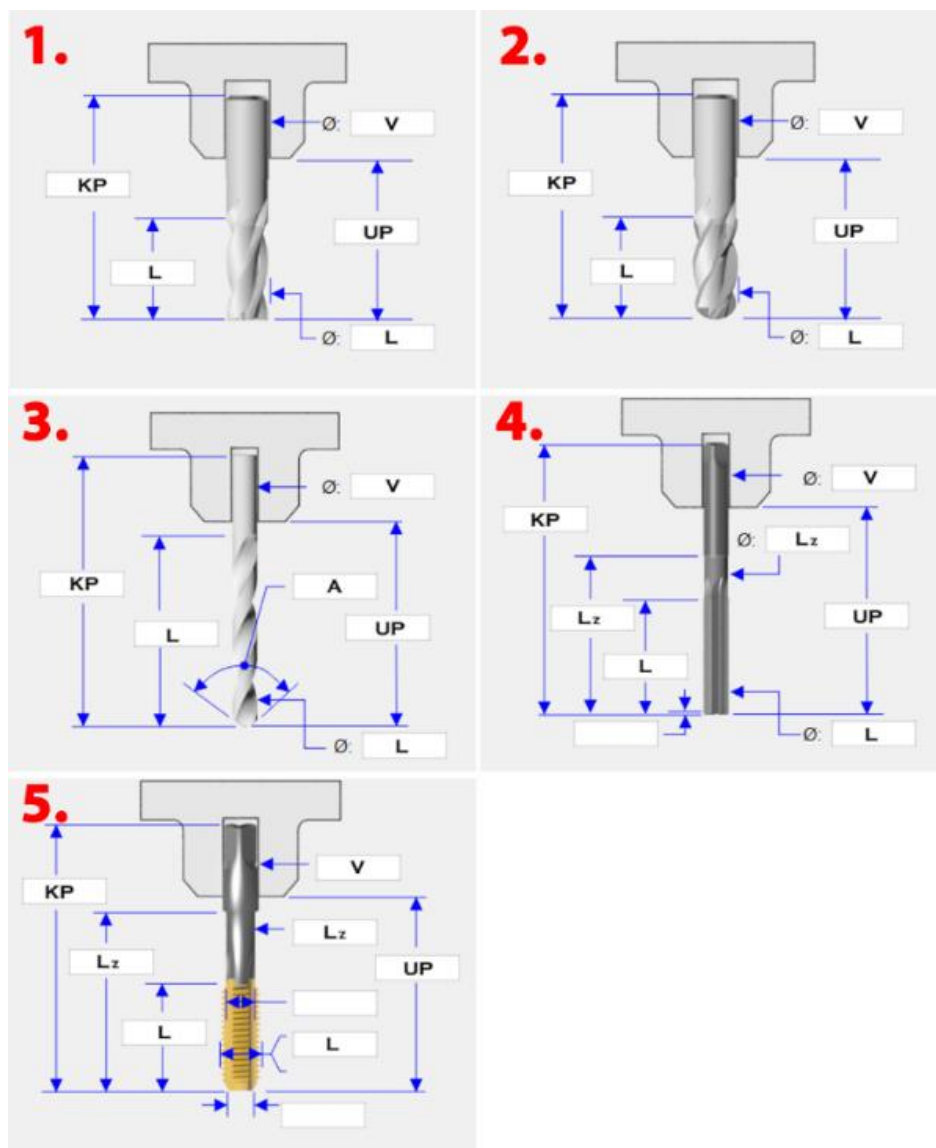
Jatkovarret tarkistettiin valmistajien merkintöjen varalta, ja jos varsista löytyi merkki ja mallinumero ne kirjattiin ylös, mutta mikäli varsista ei löytynyt merkintöjä niiden muoto mitattiin. Muodoiltaan yksinkertaisista jatkovarsista mitattiin halkaisijat ja niitä vastaava pituus. Jatkovarsista, joiden muoto oli monimutkaisempi, piirrettiin mittakuva. Ylös kirjattuiden merkki- ja mallinumeroiden perusteella tutkittiin, löytyykö valmistajan verkkosivuilta jatkosta 3D-mallia tai katalogista tarvittavan tarkkaa mittakuvaa. Käytössä olevista jatkovarsista ainoastaan SECON [31] valmistamista varsista löytyi 3D-malleja, mutta muiden valmistajien katalogeista [30; 35; 38; 39; 42; 43; 44] löytyi tarkat mittakuvat jatkovarsien 3D-mallintamiseen.

Työkalujen terien mittauksessa käytettiin kirjoitettavaan muotoon soveltuvaa, terän ominaisuuksia kuvaavaa kirjain- ja numerokoodia. Koodia käytettiin, koska haluttiin pystyä kuvailemaan terän mittoja ja ominaisuuksia piirtämättä terästä mittakuvaa. Kirjoitettavaan muotoon sopivaa määritystä käytettiin myös, koska se oli yhteensopiva Excel-muotoisen työkalukirjaston kanssa. Terien kuvailuun olisi voinut käyttää ISO 13399 [45; 46] -standardin määrittämiä kirjainkoodeja [47], mutta terien kuvailussa päätettiin kuitenkin käyttää kirjainkoodeja, jotka edustivat jo koneistamossa omaksuttuja, ominaisuuksia kuvaavia nimityksiä.

Kirjain- ja numerokoodia käyttäessä on syytä olla johdonmukainen ja aina aloittaa mittojen luettelointi työkalunpitimen suunnasta lähtien. Jos kappaleiden mitta- ja kirjausvaiheessa ei noudateta jokaisen osan kohdalla samoja periaatteita, ei välttämättä voida olla enää varmoja kappaleen muodosta, kun osia 3D-mallinnetaan. Terien ominaisuuksia kuvaavat kirjaimet ovat seuraavat:

- Z on terän hampaiden lukumäärä.
- V on terän varren halkaisija ja pituus, esimerkki: Vø20;30 (halkaisijan ollessa 20 mm ja pituuden ollessa 30 mm).
- L on terän leikkuuhalkaisija ja pituus, esimerkki: Lø9;28 (leikkuuhalkaisijan ollessa 9 mm ja pituuden ollessa 28 mm).
- Lz on terän ohennuksen halkaisija ja pituus, esimerkki: Lø5;10 (ohennuksen halkaisijan ollessa 5 mm ja pituuden ollessa 10 mm).
- R on terän pyöristyksen säde. Mitta on oleellinen kuvailtaessa esimerkiksi kulmanpyöristysjyrsimiä, ja pallopääteriä mitattaessa.
- A on terän kärkikulma, tai kulmavarsijyrsimissä teräpalan kulma, työstettävään pintaan nähden.
- UP on terän ulostulomitta teränpitimen tai jatkovarren kärkeen nähden.
- KP on terän kokonaispituus.

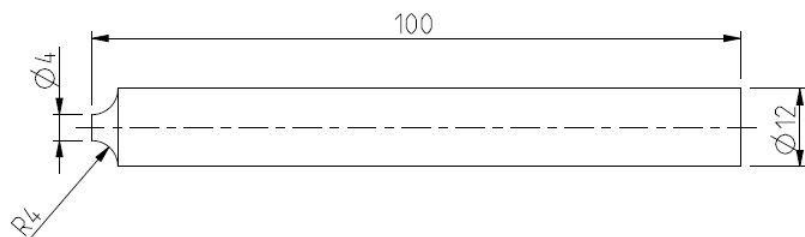
Mitattujen terien ollessa samanmuotoisia kuin VERICUT-työkalunhallinnassa olevat malliterät, ne pystyttiin muuttamaan 3D-malleiksi työkaluhallintaa käyttämällä, sijoittamalla teristä mitatut arvot kuvan 5 mallipohjiin, niitä vastaaville paikoille. Simulaation kannalta turhat arvot on jätetty tyhjiksi, eikä niitä ole mitattu (kuva 5; kohta 4 ja 5). Kierretappien kierteen sisähalkaisija sekä nousu saatiin ISO 529:2017 [48]-standardin mukaisesta kierretaulukosta, kun tiedettiin kierretapin kierteen ulkohalkaisija sekä se, tehtiinkö tapilla taaja- vai hienokierrettä. Kuvan 5 malliterät ovat tyypeiltään: 1. varsijyrsin, 2. pallopääjyrsin, 3. pora, 4. kalvain, 5. kierretappi.



Kuva 5. Projektissa käytetyt VERICUT-työkaluhallinnan malliterät.

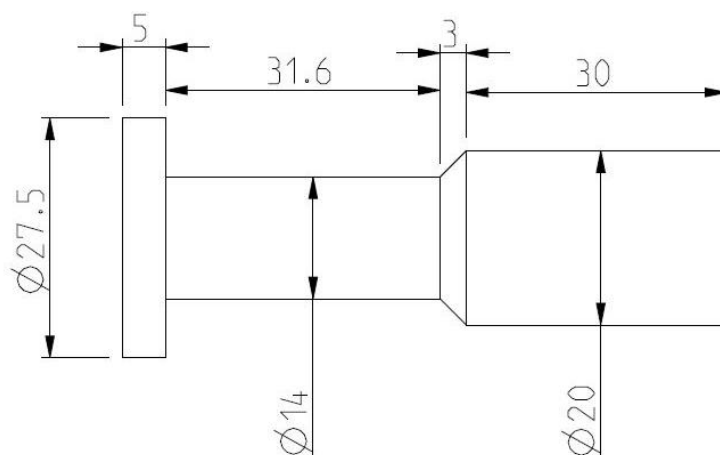
Terille jotka eivät vastanneet muodoltaan työkaluhallinnassa olevia malliteriä, käytettiin yksinkertaisten tapauksien kohdalla samaa kirjain- ja numerokoodia. Monimutkaisempien tapauksien kuten varsi- ja kiekkojyrsimien, sekä monitoimiterien kuten Magaforin Multi-V- ja Bi-face-mallistojen kohdalla on kuitenkin helpompaa piirtää teristä mittakuva tai pyrkiä selvittämään terän valmistaja ja mallinumero, ja etsiä tarvittavat terätiedot katalogeista tai verkkosivuilta. [49.]

Yksinkertaisista tapauksista esimerkkinä toimii kuvassa 6 oleva kulmanpyörästysjyrsimen mittakuva. Kirjain- ja numerokoodina kyseinen terä voitaisiin kirjoittaa ylös työkalukirjastoon muodossa V12 Lø4;4 R4 KP100, tai vielä yksinkertaisemmassa muodossa KPJ 12/4 R4 KP100.



Kuva 6. Kulmanpyöristysjyrsimen mittakuva.

Toisena yksinkertaisen tapauksen esimerkkinä toimii kuvassa 7 oleva T-urajyrsimen mittakuva. Kuvan terä muuttuu kirjain- ja numerokoodissa muotoon Vø20;30+ø20->ø14;3+ø14;31.6 Lø27.5;5.



Kuva 7. T-urajyrsimen mittakuva.

5.2.1 FMS MAKINO A77

FMS MAKINO A77-työstökoneiden työkaluinventaariossa käytettiin apuna MMS5-järjestelmään tallennettuja työkalutietoja, sekä terälistaa jota käytettiin työkaluhuollon yhteydessä. Vaikka nämä tiedot olivatkin jossain määrin puutteellisia, niiden avulla pystyttiin selvittämään hyödyllistä tietoa suurimmasta osasta työkaluja. MMS5-järjestelmästä kerättiin ylös seuraavat tiedot: työkalun sijainti työkalumakasiinissa, työkalunumero, kokonaispituus sekä terän sädekompensoatio, tyyppi ja halkaisija. Järjestelmässä merkittyä kokonaispituutta ja terän sädekompensoatiota säätelevät työstökoneelta suoraan siirtyvät arvot, ja täten näitä kahta tietoa voitiin pitää varmoina. Työkaluhuollon terälistasta selvitettiin seuraavat tiedot: työkalun sijainti työkalumakasiinissa, työkalunumero, kokonaispituus, terän tyyppi ja halkaisija, terän hyllykoodi, teräpalan

kiinnitysruuvien hyllykoodi sekä se, onko työkalussa käytössä läpijäähdytys. MMS5-järjestelmästä ja työkaluhuollon terälistasta saatuja tietoja vertailtiin ristiin ja selvitettiin löytyykö tiedoista ristiriitoja. Työkalujen inventaarion yhteydessä luotua Excel-taulukkoa tullaan jatkossa käyttämään työkaluhuollon yhteydessä, ja vanhan listan ylläpito lopetetaan.

Makino A77-työkalumakasiinien erona muihin inventaarioituihin työstökoneisiin oli se, että työkaluja pystyttiin mittaamaan työkalumakasiinista (kuva 8) työstökoneen ajon aikana. Työkalumakasiinin käyttöjärjestelmän avulla täytyi tarkistaa, mikä työkalu oli sillä hetkellä käytössä, ja mikä työkalu oli menossa seuraavaksi karalle. Jos työkalumakasiinista otetaan työkalu, joka on menossa seuraavaksi karalle, työstökoneen hälytysjärjestelmä laukeaa, minkä seurauksena työstökone lopettaa NC-ohjelman ajamisen.



Kuva 8. Makino A77 TK5-työkalumakasiini.

Toinen inventaarion yhteydessä tehty projekti liittyi työkalumakasiinissa olevien turhien työkalujen seulontaan. MMS5-järjestelmästä poistettiin käytössä olemattomia NC-ohjelmia, minkä seurauksena NC-ohjelman linkitys ohjelmassa käytettyihin työkaluihin poistui. MMS5-työkalulistalta etsittiin tämän jälkeen työkaluja, jotka eivät käy missään NC-ohjelmassa. Mikäli tällaisia työkaluja löydettiin, ne poistettiin MMS5-ohjelman työkalutiedoista, FMS-työstökoneiden työkalumakasiineista, sekä uudesta Excel-taulukosta.

5.2.2 DMG Mori DMC 65 monoBLOCK

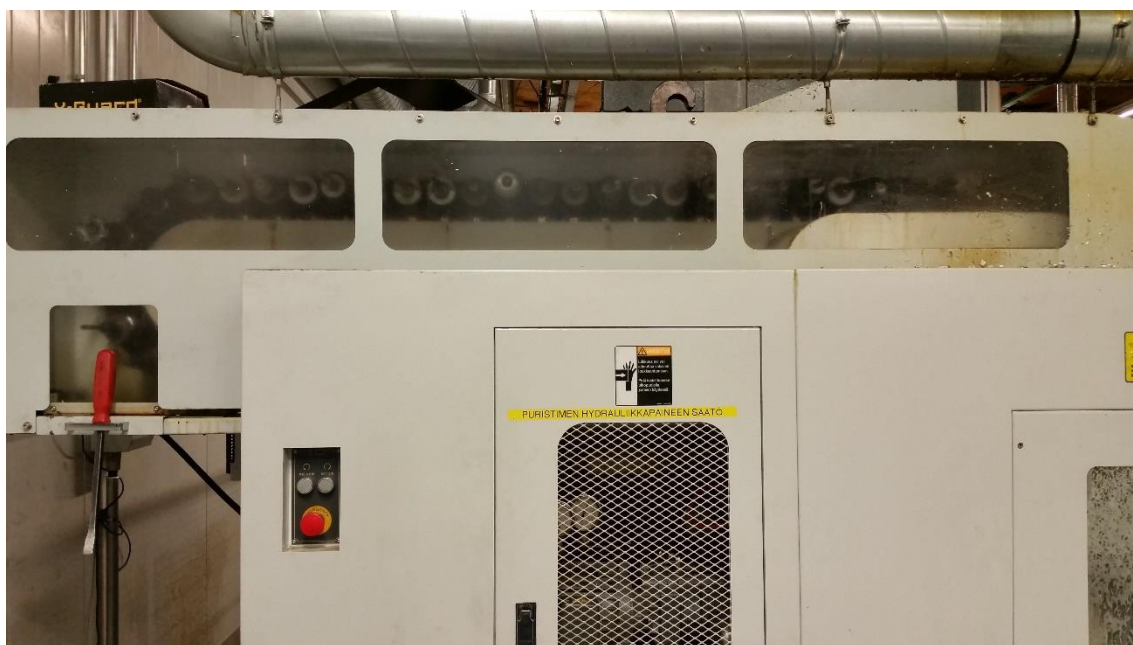
DMG Mori DMC 65 monoBLOCK-työstökoneen työkaluinventaario suoritettiin mittaamalla työkalut työstökoneen työkalumakasiinista (kuva 9) silloin kun työstökone ei ollut ajossa. Työkaluja päästiin muun muassa mittaamaan silloin, kun työstökoneeseen kiinnitettiin uusia aihioita, tai kun ajetusta paletista irrotettiin valmiita kappaleita. Inventaariossa apuna käytettiin työstökoneen käyttöjärjestelmästä löytyvää työkalulistaa, johon oli merkattu seuraavat tiedot: terän tyyppi, halkaisija, työkalun sädekompensaatio ja pituus, sekä työkalunumero. Työstökoneen käyttöjärjestelmän avulla työkalumakasiinia saatiin ajettua myötä- ja vastapäivään. Mitattava työkalu ajettiin työkalumakasiinin luukun luokse, minkä jälkeen työkalu irrotettiin työkalumakasiinista ja merkattiin työstökoneen käyttöjärjestelmään poistetuksi. Kun työkalu oli saatu mitattua, työstökoneen käyttöjärjestelmän kautta pyydettiin irrotetulle työkalulle paikka työkalumakasiinista. Työstökoneen käyttöjärjestelmä ajoi tyhjän työkalupaikan makasiinin luukun kohdalle, jolloin työkalu lisättiin takaisin järjestelmään.



Kuva 9. DMG Mori DMC 65 monoBLOCKin työkalumakasiini.

5.2.3 YCM FX380A

YCM FX380A-työstökoneella tapahtuvan robottiajon takia työstökoneen työkaluinventaario suoritettiin aluksi mittaamalla työkaluja työstökoneen vieressä olevasta työkaluhyllystä. Tätä työkaluhyllyä käytetään, koska kaikki työstökoneella käytettävät työkalut eivät mahdu samanaikaisesti työstökoneen työkalumakasiiniin. Työkaluhylly toimii säilytyspaikkana työkaluille, joita ei käytetä sillä hetkellä ajossa olevassa NC-ohjelmassa. Työstökoneen työkalumakasiinista (kuva 10) päästiin mittaamaan työkaluja työstökoneen huollon yhteydessä. Työstökoneen käyttöjärjestelmässä olevan työkalulistan avulla työkaluista saatiin selvitettyä seuraavat tiedot: terän tyyppi, halkaisija, työkalun sädekompensaatio ja pituus, sekä työkalunumero. Työkalun mittausprosessi vastasi suurilta osin DMG Mori DMC 65 monoBLOCK-työkoneella tehtyä prosessia. Käyttöjärjestelmän avulla haluttu työkalu ajettiin työkalumakasiinin luukun kohdalle, työkalu poistettiin makasiinista ja mitattiin. Tämän jälkeen työkalu lisättiin takaisin makasiiniin, minkä jälkeen prosessi toistettiin. Huollon yhteydessä ei ehditty tekemään inventaariota ja mittauksia kaikista työstökoneen teristä. Työstökoneen kapasiteetti on täynnä, eikä koneelle ole lähitulevaisuudessa suunniteltu ajettaviksi uusia NC-ohjelmia, näin ollen ei ole tarvetta simuloida koeajoja. Loput työkalut mitataan mahdollisesti seuraavan huollon yhteydessä, mikäli tarve sitä vaatii.



Kuva 10. YCM FX380A:n työkalumakasiini.

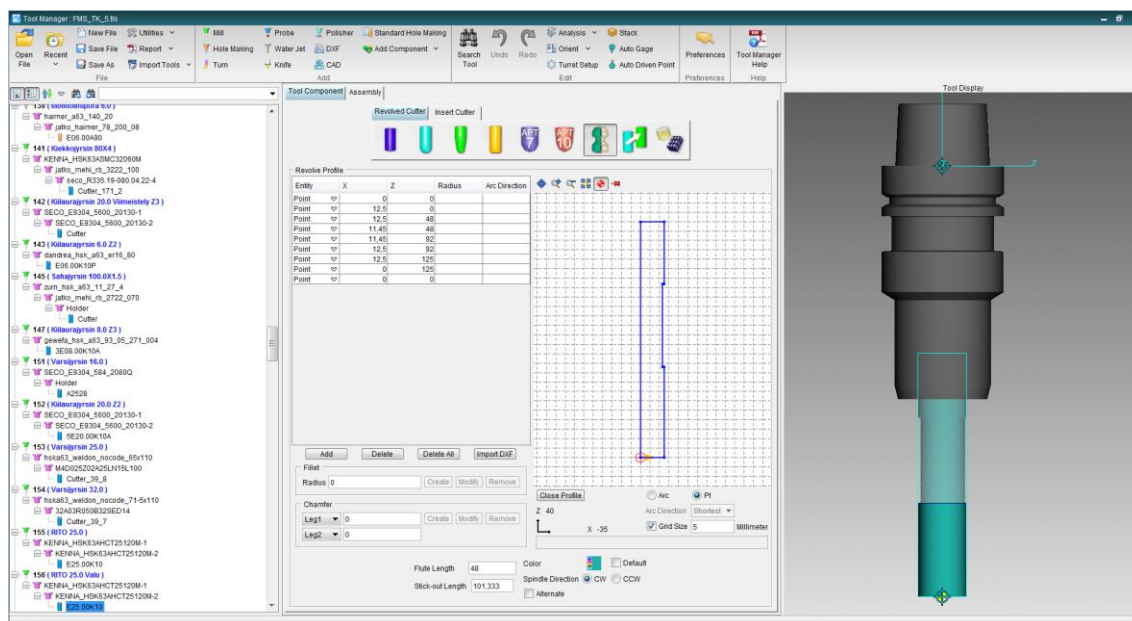
5.3 MachiningCloud

Työkalupitimiä ja jatkojen mallinumeroita perusteella haettiin 3D-malleja kappaleessa 5.1 mainittujen valmistajien verkkosivujen lisäksi myös MachiningCloud-ohjelmasta. Ohjelmasta voi hakea usean eri valmistajan työkalupitimiä ja teriä yhdestä paikasta. MachiningCloudin kanssa työkalunvalmistajista tekevät yhteistyötä muun muassa Kennametal, WIDIA, HORN ja ISCAR. Työkalukirjastoon liittyen ohjelmaa käytettiin erityisesti Kennametallin työkalupitimiä ja irtopalaisten varsijyrsimien sekä HORNin Turajyrsimien 3D-mallien hakemiseen. MachiningCloudista haetuista työkalupitimistä ja teristä löytyi ohjelmasta DFX-formaatissa olevat 2D-piirustukset, sekä STEP-formaatissa olevat pyörähdysymmetriset 3D-mallit, tai renderöidyt tarkat 3D-mallit. [50.]

5.4 Työkalujen mallintaminen

Työkalujen komponentit, joista ei löytynyt valmistajan sivuilta tai MachiningCloud-ohjelmasta 3D-malleja, mallinnettiin suurimmaksi osaksi PTC Creo 3D CAD-ohjelmaa käyttämällä, inventaariossa saatuja mittoja hyödyntäen. Creon lisäksi 3D-mallinnuksessa käytettiin työkalujen terien kohdalla VERICUT-työkaluhallinnassa olevia malliterä-pohjia (kappale 5.1; kuva 5), sekä Revolve Profile -terämallinnustyökalua. Valinta käytettiinkö terän mallinnuksessa Creoa vai VERICUT-työkaluhallinnan Revolve Profile -työkalua, riippui käytännössä siitä, oliko terässä kaltevia pintoja.

Revolve Profile -työkalun avulla teriä mallintaessa koordinaatistoon merkattiin pisteitä, joiden kautta terän poikkileikkausprofiili kulkee. Koordinaatiston pisteiden X- ja Y-arvot nähdään koordinaatiston vieressä olevasta taulukosta (kuva 11), näitä arvoja voidaan myös muuttaa profiilin piirron jälkeen. Koska teränmallinnukseen käytettiin ainoastaan pisteitä koordinaatistossa, työkalun avulla oli vaikeaa mallintaa esimerkiksi viistejyrsimiä, joissa terällä on tietty astekulma. Tällaisissa tapauksissa olisi toki mahdollista laskea koordinaatiston pisteiden arvot trigonometrian avulla, mutta on helpompaa käyttää ohjelmistoa, jossa on mahdollisuus merkata viivojen välisiä astekulmia.



Kuva 11. Revolve Profile -työkalun avulla mallinnettu varsijyrsin.

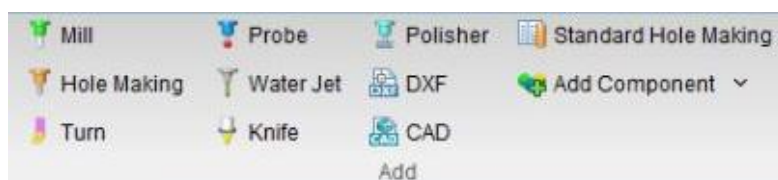
Mallinnettaessa työkalupitimiä Creon avulla työkalupitimen pohjana käytettiin työkalukohtaisia pitimen kantoja. Makino A77-työstökoneessa käytetään ISO 12164-1:2001 -standardin mukaisia HSK-A63-kantoja, DMG Mori DMC 65 monoBLOCKissa SK-40-kantoja ja YCM FX380A:ssa BT-40-kantoja, jotka molemmat ovat ISO 7388-1:2007:n mukaisia [51; 52; 53]. Edellä mainituiden standardien pohjalta piirrettiin 3D-mallipohjat työkalupitimien mallinnusta varten. Liitteessä 1 on havainnollistettu työkalupitimien kantojen 3D-mallinnuksessa oleelliset mitat, ja nollapisteen sijainti kantaan nähden. Työkalupitimen nollapisteen oikea sijainti 3D-mallissa on oleellista, sillä mallin nollapiste periytyy, kun työkalupidin siirretään VERICUT-työkalukirjaston puolelle. Jos työkalupitimen nollapiste on väärässä paikassa, virhe vaikuttaa myös kaikkiin työkalun elementteihin. Kun työkalun terä asetetaan simulaatiossa pituuskompensaation määrittämään paikkaan, simulaatiossa olevan työkalun ja todellisen työkalun pituuteen tulee nollapisteen paikan virheen suuruinen ero.

Creossa mallinnettujen työkaluelementtien perustana oli johdonmukaisesti täytetty Excel-työkalukirjasto, johon oli myös merkattu tarvittavat tiedot elementtien etsimiseen valmistajien katalogeista, sekä inventaarion yhteydessä tehdyt mittakuvat. Koska työkaluista oli tehty inventaario, jokaista työkalua ei tarvinnut mallintaa erikseen, riitti kun kaikista työkaluissa käytetyistä elementeistä piirrettiin tai muulla tapaa hankittiin 3D-mallit.

5.5 VERICUT-työkalukirjastojen rakentaminen

Kun työkalujen elementeistä oli käytettävissä 3D-mallit, alettiin elementtien avulla rakentaa VERICUT-työkalukirjastoon kokonaisia työkaluja. Valmiiden työkalujen avulla päästäisiin käyttämään työstökonesimulaatiota ja ajamaan NC-ohjelmien koeajoja. VERICUT-työkaluhallinnan avulla kaikille simuloitaville työstökoneille tehtiin työstöko-nekohtaiset työkalukirjastot. Työkalut rakennettiin inventaariossa Excel-työkalukirjastoon kerättyjen tietojen perusteella.

VERICUT-työkalukirjaston rakentaminen aloitettiin luomalla työkalut, jotka nimettiin todellisuutta vastaavilla työkalunumeroilla. Työkaluja luodessa täytyi valita työkalun tyyppi, jonka määritteli työkalussa käytetty terä tai kärki, kaikki työkalutyypit on esitelty kuvassa 12. Projektissa käytettiin seuraavia työkalutyyppejä: Mill, Hole making, Probe ja Polisher. Näiden työkalujen sisälle lisättiin CAD-painikkeen (kuva 12) avulla työkalunpitimet ja jatkovarret, jos työkaluissa oli sellaisia. Pitimille ja jatkoille merkattiin työkalun pyörimisakseli Z, ja osien tyypiksi merkattiin holder. Mikäli 3D-mallit eivät olleet Z-akseliin nähden pyörähdysymmetrisiä, valittiin mallista poikkileikkaus, jonka perusteella siitä tehtäisiin pyörähdysymmetrisiä. Työkalunpitimet ja jatkovarret nimettiin samannimisiksi kuin käytetyt 3D-mallit, jotta niitä olisi myöhemmin helppo kopioida uusia työkaluja tehdessä.



Kuva 12. VERICUT-työkaluhallinta: työkalutyypien lisäysvalikko.

Työkaluihin lisättiin terät joko kappaleessa 5.3 mainittujen valmiiden teräpohjien ja Revolve Profile -työkalun avulla tai CAD-painikkeen kautta. CAD-painikkeen kautta tuotiin valmiita 3D-malleja, jotka oli joko mallinnettu Creolla tai haettu valmistajien verkkosivuilta tai MachiningCloud-ohjelmasta. Mikäli terien tuomiseen käytettiin CAD-painiketta, terälle merkattiin pyörimisakseli Z, ja terälle merkattiin tyypiksi revolved. Tapauksissa, joissa terän 3D-malli ei ollut työstökonesimulaatiossa yleensä käytettävä pyörähdysymmetrinen 3D-malli, vaan terästä tehty tarkka 3D-malli, jouduttiin tekemään terän poikkileikkauksen avulla terästä pyörähdyskappale. Työkalukirjastoon tuoduista 3D-malleista tehdään pyörähdyskappaleita, koska tarkkojen 3D-mallien simuloiminen ku-

luttaa enemmän resursseja tietokoneelta. Raskaamman työkalumallin seurauksena simulointinopeus kärsii [54]. Työkalujen luomisessa terän tarkkaa 3D-mallia on syytä käyttää, jos työkalua liikutetaan tilanteissa, joissa kara ei pyöri. Esimerkkitapauksena yksileikkuinen jyrsin, jota käytetään takaupotuksen tekemiseen reiässä, jonka halkaisija on pienempi kuin terän pyörähdyshalkaisija. Jos tällaisen työstöradan simuloinnissa käytetään pyörimisakseliin Z nähden symmetristä työkalua, simulaatiossa havaitaan törmäys, vaikka näin ei NC-ohjelman koeajossa työstökoneella tapahtuisikaan.

Kun kaikki työkalun komponentit oli saatu lisättyä VERICUT-työkaluhallinnassa oleviin työkaluihin, siirrettiin ne oikeille etäisyyksille työkalupitimen nollapisteestä, inventaari-ossa mitattujen ja selvitettyjen arvojen perusteella. Työkaluille annettiin kuvaukset työkalun terän halkaisijan ja tyyppin perusteella. Tämän jälkeen työkalun ohjauspiste (Driven point), joka käytännössä vastaa pituuskompensaatiota, sekä sädekompensoatio merkittiin työstökoneelta saatuja arvoja vastaavaksi. Näiden vaiheiden jälkeen oltiin valmiita käyttämään työkalukirjastoa NC-ohjelmien simulointiin.

VERICUT-työkalukirjaston työkaluissa käytetyt oikeita työkaluja vastaavat sädekompensoinnin arvot aiheuttivat työstökonesimulaatiossa VERICUT Loggeriin gougetyyppisiä virheilmoituksia. Virheet johtuivat siitä, että mallinnetun terän säde oli suurempi kuin sädekompensoinnin arvo. Tästä johtuen, kun NC-ohjelman työstöradassa käytettiin sädekompensointia esimerkiksi pintojen viimeistelyyn, terä osui aihion sisällä olevaan mallikappaleeseen, ja VERICUT Loggeriin ilmestyi virheilmoitus. Oikeita työkaluja vastaavia sädekompensoinnin arvoja käytettäessä etuna on se, että esimerkiksi turajyrsinten varsien törmäykset huomataan sädekompensoinnin arvon ollessa liian pieni. Sädekompensoation avulla otetaan huomioon kulumisesta ja terän hiomisesta johtuva terän säteen pieneneminen. Mikäli sädekompensoation arvona käytettäisiin terän nimellissädettä, edellä mainittuja virheilmoituksia ei tulisi. Jos näin meneteltäisiin, työkalulle pitäisi asettaa terän nimellissäteen ja sädekompensoation erotuksen suuruisen varoalue, eikä silti havaittaisi edellisen esimerkin kaltaisia törmäyksiä.

Työkalukirjastojen rakennusprojektin valmistumista seurattiin kahden mittarin avulla. Käytetyt mittarit olivat elementit, eli työkalupitimet, jatkovarret ja terät, sekä työkalut. Elementit-kategoriaa seurattiin mallinnettujen työkaluelementtien perusteella, ja työkalut-kategoriaa seurattiin VERICUT-työkalukirjastoon rakennettujen työkalujen perusteella.

Taulukot 1, 2 ja 3 kuvaavat projektin aikana mallinnettuja elementtejä ja työkaluja. Taulukossa merkityt arvot kuvaavat valmiiksi mallinnettuja elementtejä tai valmiiksi rakennettuja työkaluja, verrattuna työkaluinventaariossa laskettuun kokonaislukumäärään.

Taulukko 1. FMS Makino A77-projektiseurannan lopputulos.

Työstökone	Työkalunpitiimet	Jatkot	Terät	Elementit	Työkalut
TK2	150/150	64/64	150/150	364/364	150/150
TK3	160/160	69/69	160/160	389/389	160/160
TK4	172/172	60/60	172/172	404/404	172/172
TK5	168/168	56/56	168/168	392/392	168/168

Taulukko 2. DMG Mori DMC 65 monoBLOCK-projektiseurannan lopputulos.

Työkalunpitiimet	Jatkot	Terät	Elementit	Työkalut
65/65	5/5	65/65	135/135	65/65

Taulukko 3. YCM FX380A-projektiseurannan lopputulos.

Työkalunpitiimet	Jatkot	Terät	Elementit	Työkalut
83/116	10/?	82/116	175/?	82/116

Projektin seurannan lopputuloksia edustavista taulukoista voidaan päätellä projektin mittakaava, ja erityisesti Makino A77-työstökoneiden muodostaman FMS-järjestelmän työkalukirjaston laajuus. Taulukoista voidaan myös nähdä, että Makino A77- sekä DMG Mori DMC 65 monoBLOCK-työstökoneiden työkalukirjastot saatiin mallinnettua ja rakennettua kokonaisuudessaan, mutta YCM FX380A-työkoneen kaikista työkaluista ei ehditty huollon yhteydessä tehdä inventaariota, eikä niitä täten voitu mallintaa. Taulukoista voidaan laskea, että projektin aikana VERICUT-simulaatiossa käytettäväksi rakennettiin 797 työkalua.

5.6 Ongelmatilanteet

Vaikeuksia kohdattiin työkalukirjaston luomisprojektin eri osa-alueilla. Työkalujen inventaariossa ongelmia aiheuttivat muokatut työkaluelementit, MMS5-järjestelmästä puuttuvat tiedot sekä työkalujen päällekkäinen numerointi. VERICUT-työkalukirjaston rakentamisessa ongelmia kohdattiin pintamalleja käyttäessä sekä referenssityökalukirjastoa rakentaessa.

Työkaluinventaarion aikana selvisi, että työstökoneiden työkalumakasiineissa on myös muokattuja työkalupitimiä, jatkovarsia ja teriä. Tästä johtuen elementtejä ylös kirjatessa ei voitu luottaa pelkkiin valmistajan merkintöihin. Elementtien pinnat tarkistettiin visuaalisesti sorvauksen varalta, ja mikäli muutoksia havaittiin, työkalunumero merkittiin ylös ja muokatusta osasta piirrettiin mittakuva. Mittakuvan perusteella kyseisen työkalun 3D-mallia muokattiin työkalua vastaavaksi.

MMS5-järjestelmästä puuttuvat tiedot ilmenivät järjestelmän työkalulistassa. Työkalun tiedot-välilehdessä pituuden ja säteen kohdalla luki ilmoitus ”ei sarmiä”. Järjestelmässä olevan virheen takia kaikista työkaluista ei saatu kerättyä edellä mainittuja tietoja MMS5:n kautta, nämä työkalut täytyi käydä mittaamassa kuvan 4 PWB-systems TOOL MASTER Octa -esiasetuslaiteella.

Makino A77-työstökoneisiin liittyviä työkalulistoja, MMS5-järjestelmää ja luotua uutta Excel-työkalukirjastoa vertailemalla selvisi, että työstökoneilla oli erityyppisiä työkaluja samalla työkalunumerolla. Tämän kaltainen virhe työkalujen numeroinnissa saattaa aiheuttaa törmäyksen, mikäli NC-ohjelmia siirretään toiselle työstökoneelle ajettavaksi ja tarkistetaan pelkästään, että työkoneella olevat työkalunumerot täsmäävät. Ongelma korjattiin muuttamalla työkalujen numerointi ja päivittämällä NC-ohjelmat numeroita vastaaviksi.

VERICUT-työkalukirjastoa rakentaessa toimittiin oletuksella, että 3D-mallit tulisi siirtää pelkästään STEP-tiedostomuodossa. Tästä johtuen X_T-formaatissa tallennetut parasolidit muutettiin Creon avulla STEP-formaattiin. Muutetut mallit osoittautuivat työläiksi siirtää työkalunhallinnan CAD-painikkeen (kuva 12) avulla, sillä muutetut mallit rikkoutuivat pieniin osiin, joille kaikille piti asettaa pyörimisakseli Z erikseen. Ongelma väistettiin käyttämällä ainoastaan STEP-muotoisia 3D-malleja, ja mikäli elementistä oli ainoastaan tarjolla X_T-parasolidi, kappale mallinnettiin Creon avulla X_T-mallista otettujen mittojen avulla.

Työkalukirjastoa Makino A77-työkoneille rakennettaessa yritettiin tehdä konekohtaiset työkalukirjastot, joiden työkalut määrittää yksi iso referenssikirjasto, jossa on kaikki FMS-järjestelmään kuuluvien 4 työstökoneen työkalut. Muutokset tehtäisiin ainoastaan referenssikirjastoon, josta päivitykset siirtyisivät automaattisesti työstökonekohtaisiin kirjastoihin. Näin työkalukirjastoja olisi vaikeampaa vahingossa muokata, eikä työkalukirjastoa päivitettäessä tarvitsisi vaihdella työkirjastojen välillä. Toteutusta yrittäessä kuitenkin huomattiin, että referenssikirjastossa tehdyt muutokset eivät siirtyneet eteenpäin muihin kirjastoihin. Täten ideasta luovuttiin.

6 Tulokset

6.1 Excel-työkalukirjasto

Työkalujen inventaarion yhteydessä Excel-muotoiseen työkalukirjastoon kerättyjä työkalutietoja käytetään apuna työkaluhuollossa, ja taulukkoon päivitetään työkalumakasiineihin tehdyt työkalulisäykset ja -muutokset. Työkalukirjastoa voidaan käyttää työkaluhuollossa terien teräkoodin sekä terän vapaapituuden selvittämiseen. Työkalukirjastoa voidaan myös käyttää Makino A77-työstökoneiden työkalumakasiinien yhtenäistämässä. Listalta on helppo luetella työkalut työkalunumeron mukaan, jolloin nähdään ovatko saman työkalunumeron työkalut samanlaisia eri työkoneilla.

6.2 VERICUT-työkalukirjasto

Työkalukirjastot saatiin luotua Makino A77- ja DMG Mori DMC 65 monoBLOCK-työstökoneille kokonaan. YCM FX380A-työstökoneen työkalukirjaston tekeminen jäi osittain kesken. Työkalukirjastojen rakentaminen on mahdollistanut DMG Mori työstökoneella monen uuden NC-ohjelman koeajamisen simulaatiossa. Makino-työstökoneilla työkalukirjastojen avulla on koeajettu simulaatiossa suurimmaksi osaksi vanhoja NC-ohjelmia, joihin on lisätty purseenpoistoon liittyviä työstörotaja. VERICUT-työkalukirjaston ylläpitämisen mahdollistamiseksi työkalukirjastojen rakentamista koulutettiin, prosessista kuvattiin opetusvideoita ja luotiin kirjallista opetusmateriaalia. Näiden koulutusten ja materiaalien avulla järjestelmää pystytään ylläpitämään insinöörityöprojektin loputtua.

6.3 Creo-käyttökoulutus

VERICUT-ohjelman käyttöä harjoitellessa huomattiin, että palettien 3D-kokoonpanojen muuttaminen VERICUTissa käytettävään muotoon, STL-malleiksi, saatiin nopeimmin tehtyä käyttäen 3D-mallinnusohjelmaa Creoa. Creoa käytettiin myös työkalumallinnuksessa, joten käyttökoulutusta järjestettiin näihin operaatioihin liittyen. Samoin kuin työkalukirjaston rakentamisen opetuksessa, opetusvideoita tehtiin työkalumallinnuksesta sekä palettien muuttamisesta STL-malleiksi. Järjestelmän käyttäjät voivat käyttää näitä videoita apuna työskennellessään.

7 Yhteenveto

Insinööriyön tavoitteena oli VERICUT-ohjelman käyttöönotto ja simulaatiossa käytettävien työstökoneiden työkalujen 3D-mallintaminen sekä työkalujen rakentaminen työstökonekohtaisiin VERICUT-työkalukirjastoihin. Ohjelman käyttöönotolla tavoiteltiin säästöjä NC-ohjelmien koeajoihin liittyen.

Projektin lopputuloksena saatiin toimiva järjestelmä NC-ohjelmien koeajoon ja virhetilainten ratkointaan. VERICUT-ohjelma osoitti myös hyödyllisyytensä kiinnitinsuunnittelun aputyökaluna. Myös työkalukirjaston luomisen pohjatyönä tehdystä työkaluinventoinnista saatiin paljon hyödyllistä informaatiota koskien työstökoneiden työkaluja.

Vaikka projekti oli onnistunut, projektiin liittyviin osa-alueisiin olisi mahdollista kehittää parempia menetelmiä ja järjestelmiä. Esimerkiksi työkalukirjaston ylläpitämiseen liittyen terähyllyn tarkka inventointi ja kaikkien teräkoodien linkittäminen työkalukirjastoon helpottaisi huomattavasti työstökoneiden työkaluhuoltoa. Terähyllyn ylläpidossa ja työkaluhuollossa täytyy pyrkiä tilanteeseen, jossa aina kun uusi terä otetaan käyttöön, sille myös annetaan teräkoodi ja lokero terähyllystä. Myös työstökoneilla käytettäville kevennetyille tai muuten muokatuille terille täytyy antaa alkuperäisestä poikkeava teräkoodi ja paikka.

VERICUT-työkalukirjaston ylläpitoon liittyen työkalumallinnuksessa voitaisiin mahdollisesti käyttää ”Zoller 3dCheck”- tai ”WALTER HELICHECK 3D” -tyyppistä työkalujen digitalisointijärjestelmää. Nämä järjestelmät perustuvat työkalujen skannaamiseen optisen- tai lasersensorin avulla, joka luo skannatusta kappaleesta kolmiulotteisen pintamallin. Skannauksen jälkeen työkalut voidaan tallentaa 3D-malleiksi [55; 56]. Tämän kaltaiset järjestelmät voisivat helpottaa työkalujen 3D-mallien päivitystä ja varmistaisivat, että 3D-malli ja oikea työkalu vastaavat tarkasti toisiaan. Työkalun digitalisointi tapahtuisi jo osana työkalunhuoltoprosessia, jolloin ei olisi riskiä, että työkalutietojen päivittäminen unohtuisi VERICUT-työkalukirjastoon. Työkalumallien tarkka vastaavuus myös toisi ratkaisun simuloinnin aikana tapahtuviin mallikappaletörmäyksiin. Työkalun mallinnettu säde ja mittalaitteella mitattu säde vastaisivat toisiaan, näin VERICUT Loggerin virhelistasta saataisiin karsittua tästä erosta johtuvat virheet. Mikäli työkalunmittauksessa käytettävien mittatyökalujen uusiminen on ajankohtaista, laitetta kannattaisi harkita.

DMG Mori-työstökoneella huomattu aikaero ohjelmien läpimenossa pitää selvittää videoimalla NC-ohjelman läpimeno, ja vertailemalla eri työstövaiheissa kuluvia aikoja. Videosta selviäisi, missä vaiheessa työstöä simulaatiossa olevat aikaerot syntyvät. Työstökoneen läpimenoaikojen tarkentamiseen liittyen, kiihtyvyysanturia käyttämällä voisi mitata karan ja pöydän liikkeit ja merkata työstökoneen tarkat kiihtyvyydet VERI-CUT-konemalliin.

YCM-työstökoneeseen liittyvä työkalukirjasto tulisi viimeistellä ja konesimulaatiota testata. Virtuaalityöstökoneen ohjausta pitäisi testata myös samantyyppisellä työkierrolla, joka aiheutti kappaleessa 4.4 mainitun virheen DMG Mori-virtuaalityöstökoneen ohjauksessa.

Lähteet

- 1 Why Use VERICUT?. Verkkodokumentti.
<<https://www.cgtech.com/solutions/why-use-vericut/>>. Luettu 25.10.2017.
- 2 KaVokerr. 2017. Verkkodokumentti. <<http://www.kavokerr.fi/fi/>>. Luettu 6.8.2017.
- 3 About Us. Verkkodokumentti. <<https://www.kavokerr.com/about-us>>. Luettu 8.8.2017.
- 4 About VERICUT Software. Verkkodokumentti.
<<http://www.cgtech.com/products/about-vericut/>>. Luettu 6.8.2017.
- 5 VERICUT Help. Käyttöohje. CGTech. Päivitetty 9.9.2016. Luettu 9.8.2017.
- 6 VERICUT Verification. Verkkodokumentti.
<<http://www.cgtech.com/products/about-vericut/verification/>>. Luettu 11.8.2017.
- 7 CNC Machine Simulation. Verkkodokumentti.
<<http://www.cgtech.com/products/about-vericut/machine-simulation/>>. Luettu 11.8.2017.
- 8 OptiPath. Verkkodokumentti. <<http://www.cgtech.com/products/about-vericut/machine-simulation/>>. Luettu 11.8.2017.
- 9 Force™. Verkkodokumentti. <<http://www.cgtech.com/products/about-vericut/vericut-module-force/>>. Luettu 11.8.2017.
- 10 Model Export. Verkkodokumentti. <<http://www.cgtech.com/products/about-vericut/module-model-export/>>. Luettu 11.8.2017.
- 11 Multi-Axis. Verkkodokumentti. <<http://www.cgtech.com/products/about-vericut/module-multi-axis/>>. Luettu 11.8.2017.
- 12 CNC Machine Probing. Verkkodokumentti.
<<http://www.cgtech.com/products/about-vericut/module-cnc-machine-probing/>>. Luettu 11.8.2017.
- 13 Inspection Sequence. Verkkodokumentti.
<<http://www.cgtech.com/products/about-vericut/feature-inspection-sequence/>>. Luettu 11.8.2017.

- 14 VERICUT Reviewer. Verkkodokumentti. <<http://www.cgtech.com/products/about-vericut/vericut-reviewer/>>. Luettu 11.8.2017.
- 15 EDM Die Sinking. Verkkodokumentti. <<http://www.cgtech.com/products/about-vericut/feature-edm-die-sinking/>>. Luettu 11.8.2017.
- 16 AUTO-DIFF™. Verkkodokumentti. <<http://www.cgtech.com/products/about-vericut/auto-diff/>>. Luettu 11.8.2017.
- 17 Cutter / Grinder. Verkkodokumentti. <<http://www.cgtech.com/products/about-vericut/cutter-grinder-verification/>>. Luettu 11.8.2017.
- 18 Interface Showrooms. Verkkodokumentti. <<http://www.cgtech.com/solutions/interface-showrooms/>>. Luettu 11.8.2017.
- 19 VERICUT Model Interfaces. Verkkodokumentti. <<http://www.cgtech.com/products/about-vericut/model-interfaces/>>. Luettu 11.8.2017.
- 20 VNCK Integration. Verkkodokumentti. <<http://www.cgtech.com/products/about-vericut/vnck/>>. Luettu 11.8.2017.
- 21 Composite Applications. Verkkodokumentti. <<http://www.cgtech.com/products/composite-applications/>>. Luettu 11.8.2017.
- 22 Programming and Simulating Automated Fiber Placement (AFP) CNC Machines. Verkkodokumentti. <<http://www.cgtech.com/wp-content/uploads/2012/08/Programming-Simulating-Automated-Fiber-Placement-AFP-CNC-Machines.pdf>>. Luettu 2.9.2017.
- 23 Drilling & Fastening. Verkkodokumentti. <<http://www.cgtech.com/products/drilling-fastening/>>. Luettu 11.8.2017.
- 24 Additive. Verkkodokumentti. <<http://www.cgtech.com/products/about-vericut/additive/>>. Luettu 4.9.2017.
- 25 Teamcenter. Verkkodokumentti. <<https://www.cgtech.com/solutions/interface-showrooms/teamcenter/>>. Luettu 4.11.2017.
- 26 WinTool. Verkkodokumentti. <<https://www.cgtech.com/solutions/interface-showrooms/wintool/>>. Luettu 4.11.2017.
- 27 TDM Systems. Verkkodokumentti. <<https://www.cgtech.com/solutions/interface-showrooms/tdm-systems/>>. Luettu 4.11.2017.

- 28 Manninen, P & Puusaari, M. 2017. CAM-asiantuntija, Pathtrace Oy. CNC-koneistaja, Kavo Kerr Group Finland, Tuusula. Sähköpostikirjeenvaihto 7.8.2017.
- 29 Fowkes, L. 2017. Myynti-insinööri, CGTech Ltd, Tyrvääntö. Keskustelu 12.9.2017.
- 30 Kennametal, Master catalog, Tooling systems 2013. Verkkodokumentti. <https://www.kennametal.com/content/dam/kennametal/kennametal/common/Resources/Catalogs-Literature/Metalworking/A-12-02809_KMT_ToolingSystems2013_complete_linked.pdf>. Luettu 27.10.2017.
- 31 SECO, My pages – Seco tools. Verkkodokumentti. <<https://secure.secotools.com/mypages/portal>>. Luettu 27.10.2017.
- 32 Gewefa, Kataloge. Verkkodokumentti. <http://gewefa.com/index.php?option=com_phocadownload&view=category&id=1&Itemid=294&lang=en>. Luettu 27.10.2017.
- 33 Zürn, Kataloge. Verkkodokumentti. <<http://www.zuern-tools.de/Kataloge>>. Luettu 27.10.2017.
- 34 Kintek, Our catalogues. Verkkodokumentti. <<http://www.kintek.it/en/products.html>>. Luettu 27.10.2017.
- 35 D'andrea, Catalog 2017. Verkkodokumentti. <<http://www.dandrea.com/en/contents.asp?c=8>>. Luettu 27.10.2017.
- 36 NT, Downloads. Verkkodokumentti. <<http://en.nttool.com/support/>>. Luettu 27.10.2017.
- 37 Pokolm, Downloads. Verkkodokumentti. <<https://www.pokolm.de/en/downloads/?category=22>>. Luettu 27.10.2017.
- 38 Walter-tools, General catalogue. Verkkodokumentti. <https://waltertools.blaetterkatalog.de/catalogs/catalog/en/2017/#page_1>. Luettu 27.10.2017.
- 39 HAIMER, Products. Verkkodokumentti. <<https://www.haimer.biz/products.html>>. Luettu 27.10.2017.
- 40 KEMMLER catalogue 2017. Verkkodokumentti. <<http://kemmler-tools.com/products/download/>>. Luettu 27.10.2017.
- 41 MEXIN TOOLING, Online catalogue. Verkkodokumentti. <http://mexin.cat/english/index_eng.html>. Luettu 27.10.2017.

- 42 HORN - Product Catalogues. Verkkodokumentti.
<<http://www.phorn.co.uk/products/catalogues/>>. Luettu 27.10.2017.
- 43 MEHI Tools, Työkalut. Verkkodokumentti. <<http://www.mehi.fi/tyokalut/>>. Luettu 27.10.2017.
- 44 REGO-FIX, Cylindrical shank coletholders CYL. Verkkodokumentti.
<<https://fi.rego-fix.com/en/products/toolholders/cylindrical-shank-colletholders-cyl?system=ER>>. Luettu 27.10.2017.
- 45 ISO 13399. Verkkodokumentti. <<https://www.sandvik.coromant.com/en-gb/knowledge/general-information/iso-13399/pages/default.aspx>>. Luettu 4.11.2017.
- 46 ISO/TS 13399-2:2014, Cutting tool data representation and exchange -- Part 2: Reference dictionary for the cutting items. Standardi.
<<https://www.iso.org/standard/54167.html>>. Luettu 4.11.2017.
- 47 Parameters. Verkkodokumentti. <<https://www.sandvik.coromant.com/en-gb/knowledge/general-information/iso-13399/pages/parameters.aspx>> Luettu 4.11.2017.
- 48 ISO 529:2017, Short machine taps and hand taps. Standardi.
<<https://www.iso.org/standard/69200.html>>. Luettu 27.10.2017.
- 49 MAGAFOR, MULTI-FUNCTIONS TOOLS. Verkkodokumentti.
<<http://www.magafor.com/groupe.php?grp=2300>>. Luettu 28.10.2017.
- 50 MachiningCloud. Verkkodokumentti. <<https://www.machiningcloud.com/>>. Luettu 1.11.2017.
- 51 ISO 12164-1:2001, Hollow taper interface with flange contact surface -- Part 1: Shanks -- Dimensions. Standardi. <<https://www.iso.org/standard/33040.html>>. Luettu 28.10.2017.
- 52 ISO 7388-1:2007, Tool shanks with 7/24 taper for automatic tool changers -- Part 1: Dimensions and designation of shanks of forms A, AD, AF, U, UD and UF. Standardi. <<https://www.iso.org/standard/44098.html>>. Luettu 28.10.2017.
- 53 JIS B 6339-1:2011, Tool shanks with 7/24 taper for automatic tool changers -- Part 1: Dimensions and designation of shanks of forms A, AD, AF, U, UD and UF. Standardi.
<https://webdesk.jsa.or.jp/books/W11M0090/index/?bunsyo_id=JIS%20B%206339-1:2011>. Luettu 28.10.2017.
- 54 Manninen, P. 2017. CAM-asiantuntija, Pathtrace Oy, Tuusula. Keskustelu 14.3.2017.

- 55 Zoller 3dCheck. Verkkodokumentti.
<http://zoller.info/en/products/inspection_measuring/universal_measuring_machines/3dcheck>. Luettu 3.11.2017.
- 56 HELICHECK 3D. Verkkodokumentti. <<https://www.walter-machines.com/en/products/measuring/helichack-3d.html>>. Luettu 3.11.2017.

Simuloitujen työstökoneiden työkalupitimien kannat.

Liite sisältää HSK-A63, SK-40 ja BT-40 työkalupitimien kantojen 3D-mallintamisessa tarvittavat mitat ja nollapisteen sijainnin.

